



Tesis - RM185401

Analisis Potensi Longsor Menggunakan Metode Seismik Refraksi Dan MASW Di Desa Tugurejo Kabupaten Ponorogo

YUSRI PRAYITNA
NRP. 03311550032001

DOSEN PEMBIMBING
Dr. Widya Utama, DEA
Dr. Dwa Desa Warnana, S.Si, M.Si

PROGRAM MAGISTER
BIDANG KEAHLIAN GEOFISIKA
DEPARTEMEN TEKNIK GEOMATIKA
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN, DAN KEBUMIHAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2018



Tesis - RM185401

Analisis Potensi Longsor Menggunakan Metode Seismik Refraksi Dan MASW Di Desa Tugurejo Kabupaten Ponorogo

YUSRI PRAYITNA
NRP. 03311550032001

DOSEN PEMBIMBING
Dr. Widya Utama, DEA
Dr. Dwa Desa Warnana, S.Si, M.Si

PROGRAM MAGISTER
BIDANG KEAHLIAN GEOFISIKA
DEPARTEMEN TEKNIK GEOMATIKA
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN, DAN KEBUMIHAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2018

LEMBAR PENGESAHAN

Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar

Magister Teknik (M.T)

di

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

oleh:

Yusri Prayitna

Nrp. 03311550032001

Tanggal Ujian : 7 September 2018

Periode Wisuda : 119 (Maret 2019)

Disetujui oleh:

-
1. **Dr. Widya Utama, DEA** (Pembimbing I)
NIP: 196110241988031001
-
2. **Dr. Dwa Desa Warnana, S.Si, M.Si** (Pembimbing II)
NIP: 197601232000031001
-
3. **Dr. Ayi Syaiful Bahri, S.Si, M.T** (Penguji I)
NIP: 196909061997021001
-
4. **Dr. Ir. Amien Widodo, M.S** (Penguji II)
NIP: 195910101988031002



Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Dekan,

Ida A Warmadewanthi, S.T., M.T., Ph.D.

NIP. 197502121999032001

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN

ANALISIS POTENSI LONGSOR MENGGUNAKAN METODE SEISMIC REFRAKSI DAN MASW DI DESA TUGUREJO KABUPATEN PONOROGO

Nama Mahasiswa : Yusri Prayitna
NRP : 3515203201
Pembimbing : Dr. Widya Utama, DEA
: Dr. Dwa Desa Warnana, S.Si, M.Si

ABSTRAK

Wilayah Ponorogo merupakan salah satu daerah di Indonesia yang memiliki ancaman longsor yang nyata, hal ini disebabkan karena bentuk morfologi yang bervariasi seperti dataran tinggi dan perbukitan. Salah satu daerah yang berpotensi mengalami longsor adalah Desa Tugurejo di Kecamatan Slahung. Kestabilan suatu lereng terhadap longsor dipengaruhi oleh parameter mekanik dan kondisi hidrologis. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui sifat fisis dan mekanik batuan dengan parameter poisson's ratio di daerah yang mengalami pergerakan tanah di Desa Tugurejo. Metode yang digunakan adalah SRT (*Seismic Refraction Tomography*) dan MASW (*Multi-channel Analysis of Surface Waves*). Distribusi nilai kecepatan gelombang-P dan gelombang-S menunjukkan adanya lapisan dengan kecepatan rendah dengan rentang antara 500-1200 m/s dan 150-350 m/s pada kedalaman dibawah 5 m, lapisan ini diidentifikasi sebagai lapisan lapuk. Selain itu dari hasil analisis poisson's ratio, diketahui bagian mengalami kelongsoran terdiri dari lapisan lapuk yang jenuh dan lapisan konglomerat jenuh. Hal ini berkorelasi dengan hasil analisis nilai modulus shear dan modulus young yang rendah.

Kata kunci: longsor, seismik refraksi, MASW, poisson's ratio

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN

LANDSLIDE ANALYSIS USING SEISMIC REFRACTION AND MASW IN TUGUREJO VILLAGE, PONOROGO

By : Yusri Prayitna
Student Identity Number : 3515203201
Supervisor : Dr. Widya Utama, DEA
: Dr. Dwa Desa Warnana, S.Si, M.Si

ABSTRACT

Ponorogo is one of the regions in Indonesia that has a real threat of landslides, this is due to varied morphological forms such as highlands and hills. One of its areas that has the potential of landslides is Tugurejo Village in Slahung District. The stability of a slope against landslides is influenced by mechanical parameters and hydrological conditions. This study aims to determine the physical and mechanical properties of rocks with Poisson's ratio parameters in areas that experienced soil movement in Tugurejo Village. The methods used are SRT (Seismic Refraction Tomography) and MASW (Multi-channel Analysis of Surface Waves). The distribution of the P-wave velocity and S-wave shows the presence of a low velocity layer with a range between 500-1200 m/s and 150-350 m/s at depths below 5 m, this layer is identified as a weathered layer. In addition, from the analysis of Poisson's ratio, it is known that the parts which experiencing landslides consist of saturated weathered layers and saturated conglomerate layers. This correlates with the results of the analysis of the shear modulus and low young modulus values.

Key words: landslide, seismik refraktion, MASW, poisson's ratio

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan kasih dan sayang-Nya, sehingga penulisan Tesis dengan judul “*Analisis Potensi Longsor Menggunakan Metode Seismik Refraksi Dan MASW Di Desa Tugurejo Kabupaten Ponorogo*” dapat terselesaikan.

Pelaksanaan penelitian dan penyusunan Tesis ini tidak lepas dari bantuan dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh sebab itu, pada kesempatan ini penulis menyampaikan rasa terimakasih kepada :

1. Orang tua tercinta yang selalu memberikan doa dan dukungan.
2. Bapak Widya Utama dan Bapak Dwa Desa Warnana selaku dosen pembimbing.
3. Bapak Ayi Syaeful Bahri dan Bapak Amien Widodo selaku dosen penguji.
4. Teman-teman pengukuran Ponorogo (Silmi, Vibri, Novritsa, Fani) yang telah meluangkan waktu dan menyumbangkan pikiran.
5. Seluruh dosen dan pegawai administrasi dari Departemen Teknik Geofisika dan Departemen Teknik Geomatika yang telah banyak memberikan ilmu dan pengalaman.
6. Teman-teman mahasiswa Pascasarjana Teknik Geomatika ITS (Delmar, Ihsan, Hadits, Silmi, Sendy, Lisa, Sherly, Chandra, Arul, Firman, Yuanda, Hery, Pak Yunus) atas dukungannya.
7. Teman-teman mahasiswa S1 Teknik Geofisika ITS yang sangat berperan dalam pengolahan data penulis.
8. Bapak dan Ibu Kamar serta teman-teman penghuni R6.
9. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu, terimakasih atas doa dan dukungannya.

Penulis menyadari bahwa tulisan ini masih memiliki kekurangan. Oleh karena itu, kritik dan saran dari semua pihak sangat diharapkan. Semoga tulisan ini dapat memberikan manfaat bagi semua pihak yang membutuhkan.

Surabaya, 25 Agustus 2018

Penulis

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	iv
ABSTRAK	iii
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xiv
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Batasan Masalah	2
1.4. Tujuan Penelitian	3
1.5. Manfaat Penelitian	3
BAB 2 KAJIAN PUSTAKA	5
2.1. Geologi Regional Daerah Penelitian	5
2.2. Gerakan Tanah di Tugurejo	6
2.3. Tanah Longsor	8
2.4. Seismik Refraksi	9
2.5. Multi-channel Analysis of Surface Waves	13
2.6. Poisson's Ratio	17
2.7. Modulus Elastis	19
2.8. Penelitian Terdahulu	19
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN	22
3.1 Lokasi Penelitian	23
3.2 Peralatan dan Data Penelitian	24
3.3 Akuisisi Data	24
3.4 Pengolahan Data	28
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	31
4.1 Geologi Tugurejo	31
4.2 Gelombang-P	35

4.3 Gelombang-S.....	37
4.4 Modulus Elastisitas	41
4.5 Poisson's Ratio.....	43
4.6 Fracture Index	45
4.7 Resistivity.....	46
4.8 Analisis Longsor	47
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	51
5.1 Kesimpulan	51
5.2 Saran.....	51
DAFTAR PUSTAKA.....	53
LAMPIRAN	57
BIODATA PENULIS	69

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Peta geologi regional kecamatan Slahung.....	5
Gambar 2. 2 Retakan-retakan di sekitar daerah penelitian	7
Gambar 2. 3 Peta kerawanan longsor di Ponorogo (Yuniarta, dkk 2015)	7
Gambar 2. 4 Pembiasan dengan sudut kritis (Reynold, 2011)	10
Gambar 2. 5 Hubungan antara penjalaran gelombang refleksi dan refraksi dengan kurva travel time untuk kasus satu reflector (Telford,1990)	11
Gambar 2. 6 Penjalaran gelombang dan kurva travel-time untuk kasus 2 reflektor (Telford,1990).....	12
Gambar 2. 7 Penjalaran gelombang dan kurva travel-time untuk kasus reflector murung (Telford,1990)	13
Gambar 2. 8 Skema Near- dan Far- field effect yang bisa terjadi selama survei MASW	15
Gambar 3. 1 Lokasi Penelitian	23
Gambar 3. 2 Desain pengukuran Seismik Refraksi dan MASW	25
Gambar 3. 3 Diagram alir penelitian.....	26
Gambar 3. 4 Proses pengolahan data seismik refraksi dan MASW. (a, b, c proses pengolahan seismik refraksi; a, d, e proses pengolahan MASW) ..	29
Gambar 4. 1 (a) DEM daerah Slahung; (b) kemiringan lereng daerah Slahung (kotak merah: lokasi pengukuran)	32
Gambar 4. 2 Hasil analisa struktur geologi daerah penelitian berdasarkan citra SRTM (Sumber Citra SRTM : Earth Explorer, USGS).....	34
Gambar 4. 3 Analisis data kekar dalam stereonet	34
Gambar 4. 4 Lokasi pengambilan sampel batuan	36
Gambar 4. 5 Profil kecepatan gelombang-P. a) lintasan 2; b) 3D Kecepatan gelombang-P	37
Gambar 4. 6 Kurva dispersi hasil pengukuran MASW.....	38
Gambar 4. 7 Profil 1D kecepatan gelombang-S dan kedalaman untuk setiap lintasan	40
Gambar 4. 8 Modulus shear lintasan 2.....	41

Gambar 4. 9 Modulus young lintasan 2.....	42
Gambar 4. 10 Modulus Shear dan Modulus Young sebagai fungsi kedalaman....	43
Gambar 4. 11 Poisson's ratio	44
Gambar 4. 12 Fracture Index Vp lintasan 2.....	45
Gambar 4. 13 Fracture Index Vs Lintasan 2.....	46
Gambar 4. 14 Penampang resistivitas 2D.....	47
Gambar 4. 15 Pemodelan longsor Tugurejo.....	49
Gambar 6. 1 Pengambilan data Seismik Refraksi dan MASW	57
Gambar 6. 2 Pengambilan data kekar.....	57
Gambar 6. 3 Lokasi pengambilan sampel batuan.....	58
Gambar 6. 4 Pengukuran Vp sampel batuan di Teknik Sipil ITS	58
Gambar 6. 5 RAW data seismik refraksi Shotpoint 3 Lintasan 2.....	59
Gambar 6. 6 Profil 2D Vp Lintasan 1.....	60
Gambar 6. 7 Profil 2D Vp Lintasan 2.....	60
Gambar 6. 8 Profil 2D Vp Lintasan 3.....	61
Gambar 6. 9 Profil 2D Vp Lintasan 4.....	61
Gambar 6. 10 Profil Vs 1D hasil pengolahan Easy MASW Line 1 Shotpoint 1 ...	62
Gambar 6. 11 Profil Vs 1D hasil pengolahan Easy MASW Line 1 Shotpoint 2 ...	62
Gambar 6. 12 Profil Vs 1D hasil pengolahan Easy MASW Line 1 Shotpoint 3 ...	62
Gambar 6. 13 Profil Vs 1D hasil pengolahan Easy MASW Line 1 Shotpoint 4 ...	63
Gambar 6. 14 Profil Vs 1D hasil pengolahan Easy MASW Line 1 Shotpoint 5 ...	63
Gambar 6. 15 Profil Vs 1D hasil pengolahan Easy MASW Line 2 Shotpoint 1 ..	63
Gambar 6. 16 Profil Vs 1D hasil pengolahan Easy MASW Line 2 Shotpoint 2 ...	64
Gambar 6. 17 Profil Vs 1D hasil pengolahan Easy MASW Line 2 Shotpoint 3 ...	64
Gambar 6. 18 Profil Vs 1D hasil pengolahan Easy MASW Line 2 Shotpoint 4 ...	64
Gambar 6. 19 Profil Vs 1D hasil pengolahan Easy MASW Line 2 Shotpoint 5 ...	65
Gambar 6. 20 Profil Vs 1D hasil pengolahan Easy MASW Line 3 Shotpoint 1 ...	65
Gambar 6. 21 Profil Vs 1D hasil pengolahan Easy MASW Line 3 Shotpoint 2 ...	65
Gambar 6. 22 Profil Vs 1D hasil pengolahan Easy MASW Line 3 Shotpoint 3 ...	66
Gambar 6. 23 Profil Vs 1D hasil pengolahan Easy MASW Line 3 Shotpoint 4 ...	66
Gambar 6. 24 Profil Vs 1D hasil pengolahan Easy MASW Line 3 Shotpoint 5 ...	66
Gambar 6. 25 Profil Vs 1D hasil pengolahan Easy MASW Line 4 Shotpoint 1 ...	67

- Gambar 6. 26 Profil Vs 1D hasil pengolahan Easy MASW Line 4 Shotpoint 2 .. 67
- Gambar 6. 27 Profil Vs 1D hasil pengolahan Easy MASW Line 4 Shotpoint 3 .. 67
- Gambar 6. 28 Profil Vs 1D hasil pengolahan Easy MASW Line 4 Shotpoint 4 .. 68
- Gambar 6. 29 Profil Vs 1D hasil pengolahan Easy MASW Line 4 Shotpoint 5 .. 68

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN

DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Peralatan dan bahan yang digunakan dalam penelitian	24
Tabel 3. 2 Kurva S Kegiatan Penelitian	27
Tabel 4. 1 Kecepatan gelombang-P dan densitas batuan daerah penelitian.....	36

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Tanah longsor merupakan salah satu bencana yang sering terjadi di Indonesia. Tanah longsor adalah pergerakan tanah ke bawah dari tanah, batu, dan atau material lainnya akibat pengaruh gravitasi. Tanah longsor terjadi jika terdapat lereng yang curam, terdapat lapisan atau tanah yang jenuh air yang menumpang di atas lapisan yang kedap air (bidang gelincir), dan terdapat rekahan-rekahan yang berperan sebagai pemicu terjadinya longsor. Menurut Karnawati (2007), yang menjadi faktor pengontrol suatu daerah rentan akan bencana longsor adalah kondisi morfologi, stratigrafi, geohidrologi, dan penggunaan lahan. Sementara yang menjadi faktor pemicu adalah faktor getaran, aktivitas manusia, dan infiltrasi air ke dalam lereng.

Daerah Ponorogo merupakan salah satu daerah di Indonesia yang memiliki ancaman longsor yang nyata, hal ini disebabkan karena bentuk morfologi Kabupaten Ponorogo yang bervariasi seperti dataran tinggi dan perbukitan (Yuniarta, dkk 2015). Berdasarkan data BNPB (Badan Nasional Penanggulangan Bencana) tahun 2013 hingga 2017, telah terjadi peristiwa tanah longsor sebanyak 77 kali dan 35% diantaranya terjadi di kecamatan Ngrayun dan Slahung. Salah satu daerah yang berpotensi mengalami longsor adalah Desa Tugurejo di Kecamatan Slahung. Berdasarkan informasi yang diperoleh dari warga setempat, pada daerah ini telah terjadi pergerakan tanah dan muncul retakan di beberapa tempat yang mengakibatkan kerugian yang cukup besar. Pergerakan tanah dan retakan ini terjadi setelah dilanda hujan deras selama beberapa hari.

Kestabilan suatu lereng terhadap longsor dipengaruhi oleh parameter mekanik dan kondisi hidrologis (Leroueil, 2001). Kajian geoteknik sendiri merupakan kajian yang biasa digunakan untuk mengetahui kondisi hidrologi suatu daerah, sehingga metode seismik dapat digunakan untuk mengkarakterisasi penyebab longsor di suatu daerah. Dalam beberapa penelitian, terdapat korelasi yang baik antara kecepatan rambat gelombang longitudinal V_p dan kecepatan

gelombang transversal Vs dengan parameter mekanik batuan diantaranya modulus elastisitas dan porositas (Uhlemann, dkk 2016).

Penelitian ini bertujuan menganalisis bawah permukaan pada daerah yang mengalami pergerakan tanah di Tugurejo dengan menggunakan metode Seismik (*Seismic Refraction* dan *Multichannel Analysis of Surface Waves*). Dalam penelitian longsor, gelombang-P yang dihasilkan dari seismik refraksi menunjukkan perbedaan yang signifikan antara bidang longsor dan batuan dasar (Uhlemann, dkk 2016). Sementara dari hasil penelitian Yalcinkaya, dkk (2016) menunjukkan adanya nilai gelombang-S yang sangat rendah pada daerah longsor dibanding dengan daerah yang lebih stabil disekitarnya. Namun, untuk lereng yang terdiri dari sedimen yang serupa sulit dilakukan interpretasi karena kecepatan gelombang seismik saling tumpang tindih (Schrott dan Sass, 2008). Sehingga dalam penelitian ini nilai kecepatan gelombang-P dan gelombang-S yang terukur selanjutnya akan digunakan untuk mengetahui sifat elastisitas batuan seperti *poisson's ratio*, *modulus shear*, dan *modulus young*.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan di atas, beberapa rumusan masalah yang menjadi alasan dilakukannya penelitian adalah :

- a. Bagaimana keadaan bawah permukaan daerah penelitian berdasarkan profil kecepatan gelombang P dan S ?
- b. Bagaimana sifat fisis dan mekanik batuan dengan menggunakan parameter *Poisson's Ratio* berdasarkan data hasil pengukuran *Seismic Refraction Tomography* dan *Multi-channel Analysis of Surface Waves* ?

1.3. Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penulisan Tesis ini adalah sebagai berikut :

- a. Pengukuran dilakukan dengan menggunakan metode *Seismik Refraksi* dan *Multichannel Analysis of Surface Wafes* .
- b. Lokasi penelitian berada di Desa Tugurejo, Kecamatan Slahung, Kabupaten Ponorogo.

- c. Model bawah permukaan yang diperoleh adalah model dua dimensi (2D).
- d. Pengambilan data di lapangan menggunakan teknik in line.

1.4. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

- a. Analisis keadaan bawah permukaan daerah penelitian berdasarkan profil kecepatan gelombang P dan S.
- b. Analisis bawah permukaan daerah longsor dengan menggunakan parameter gelombang-P dan S, modulus elastisitas, poisson's ratio, fracture index, dan resistivitas.

1.5. Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini antara lain sebagai berikut ;

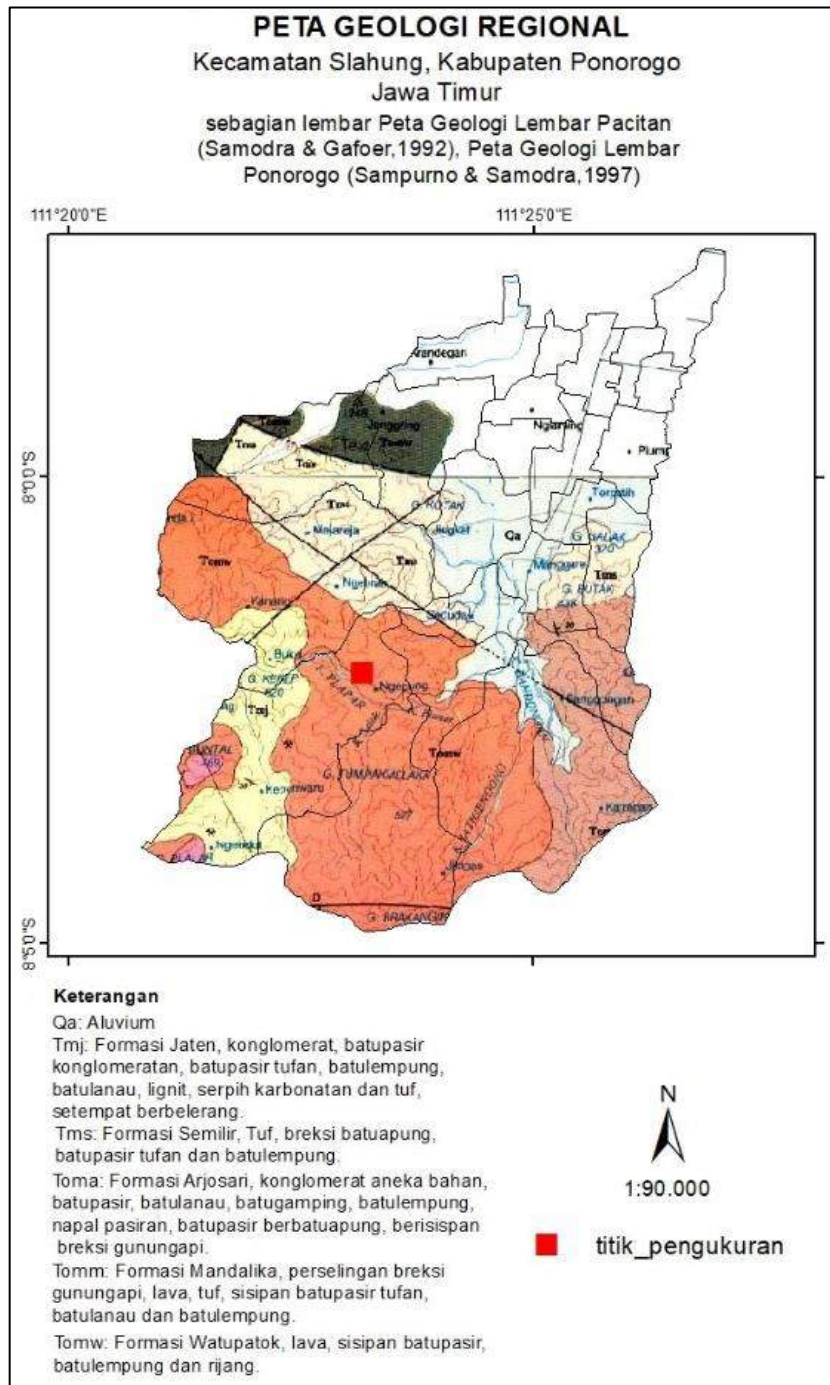
- a. Sebagai upaya mitigasi bencana.
- b. Sebagai acuan bagi penelitian selanjutnya mengenai permasalahan tanah longsor di Desa Tugurejo.

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN

BAB 2

KAJIAN PUSTAKA

2.1. Geologi Regional Daerah Penelitian



Gambar 2. 1 Peta geologi regional kecamatan Slahung

Stratigrafi daerah penelitian berdasar peta geologi regional lembar Pacitan (Samodra, dkk 1992) diketahui bahwa batuan yang menyusun daerah penelitian terdiri dari batuan sedimen beraneka ragam. Daerah Utara Slahung didominasi oleh sedimen muda dengan umur Quarter yang terdiri dari endapan aluvium, sedangkan di daerah Selatan didominasi oleh batuan sedimen tua berumur Oligosen hingga Miosen. Di lokasi pengukuran seismik termasuk ke dalam formasi Watupatok. Satuan ini disusun oleh lava andesit, tuf kasar, dan breksi andesit.

Lava andesit memiliki struktur massif, membreksi, sampai berlembar. Lava andesit memiliki komposisi berupa kelompok mineral-mineral intermedit. Lava ini berstruktur bantal dan diterobos oleh retas-retas basal berjurus utara-selatan dengan lebar teras antara 40 dan 60 cm. Batupasir berbutir kasar terdiri dari kepingan batuan beku, kuarsa, dan feldspar dengan silika dan oksida besi sebagai perekatnya. Batupasir ini berupa sisipan di dalam lava bantal dengan ketebalan berkisar antara 1 dan 3 m. Batulempung mengandung foraminifera kecil bentos. Ketebalan lapisan batulempung berkisar antara 50 dan 100 cm. Setempat batulempung ini disisipi oleh tuf kasar. Rijang terkekarkan dan retakannya terisi oleh kuarsa dan karbonat sebagai sisipan pada lava. Ketebalan lapisan rijang beragam antara 10 dan 15 cm (Samodra, dkk 1992).

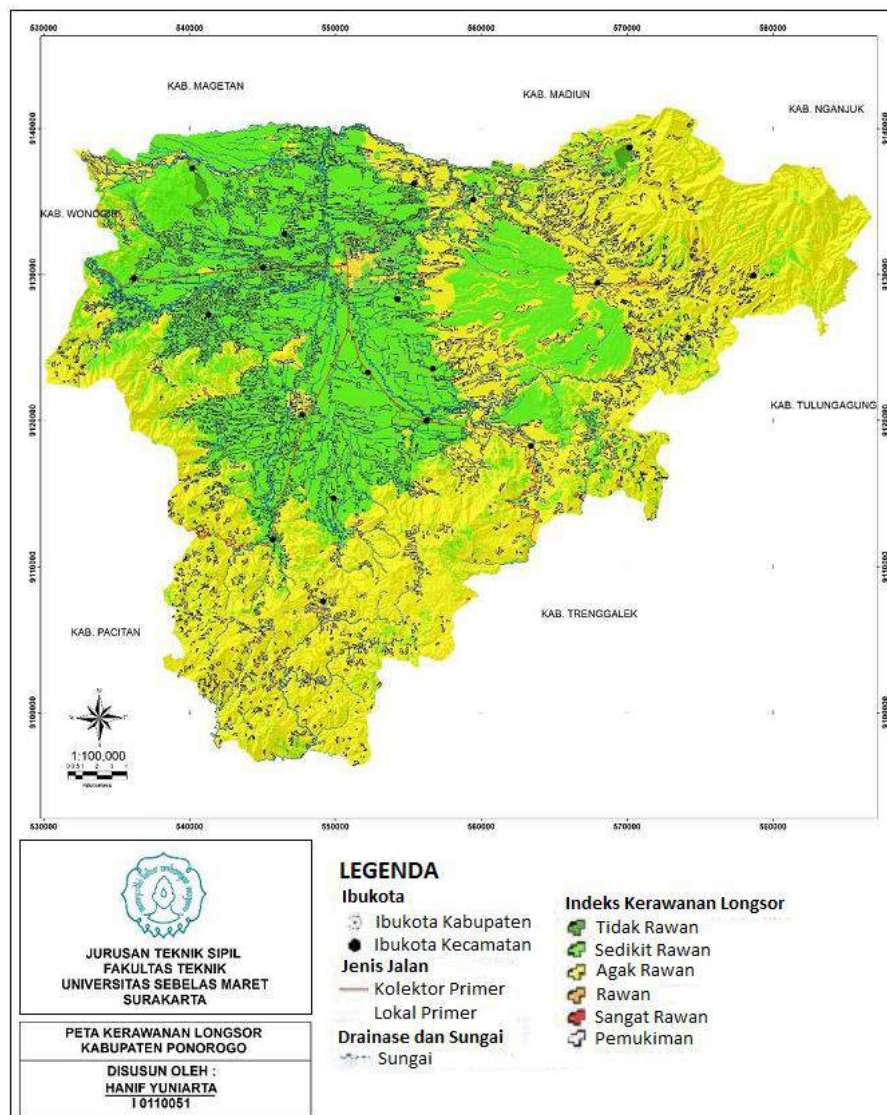
2.2. Pergerakan Tanah di Tugurejo

Slahung merupakan salah satu Kecamatan di Ponorogo yang sangat rawan akan gerakan tanah terutama di daerah Tugurejo. Pergerakan tanah terjadi setelah dilanda hujan selama beberapa hari sehingga kohesi pada lapisan lapuk serta gaya geseknya dengan lapisan di bawahnya menjadi semakin kecil. Pada daerah penelitian ditemukan pula retakan-retakan tanah dan bangunan yang berada di beberapa lokasi.

Penelitian Yuniarta, dkk (2015) menunjukkan bahwa daerah Tugurejo yang menjadi daerah penelitian tergolong ke dalam daerah yang kerentanannya sedang. Penggolongan ini dilakukan berdasarkan beberapa faktor yaitu faktor hujan harian (maksimal 3 hari), faktor lereng lahan, faktor kegempaan, faktor keberadaan sesar, faktor penggunaan lahan, faktor infrastruktur, dan faktor kepadatan penduduk.



Gambar 2. 2 Retakan-retakan di sekitar daerah penelitian



Gambar 2. 3 Peta kerawanan longsor di Ponorogo (Yuniarta, dkk 2015)

2.3. Tanah Longsor

Vernes, (1978) mendefinisikan tanah longsor sebagai gerakan material ke bawah dan ke luar dari sebuah lereng di bawah pengaruh gravitasi. Pergerakan material ini terjadi akibat adanya ketidakseimbangan pada lereng, sehingga untuk mencapai keseimbangan baru dibutuhkan suatu longsoran. Tanah longsor terjadi apabila gaya pendorong pada lereng lebih besar dari pada gaya penahan. Gaya penahan pada umumnya dipengaruhi oleh kekuatan batuan dan kepadatan tanah, sedangkan daya pendorong dipengaruhi oleh besarnya sudut lereng, beban serta berat jenis batuan. (Vernes, 1978) mengklasifikasikan tanah longsor menjadi 6 tipe yaitu fall (jatuhan), topple (jungkiran), slides (longsoran), lateral spread (hamparan kecil), flow (aliran), dan complex/compound (kompleks atau gabungan).

Faktor- faktor penyebab terjadinya longsor di suatu daerah adalah :

1. Topografi

Daerah dengan kelerengan lebih dari 20° memiliki potensi untuk bergerak atau longsor. Ada tiga tipologi lereng yang rentan terhadap longsor yaitu lereng yang tersusun oleh tumpukan tanah gembur yang di bawahnya terdapat lapisan batuan atau tanah yang lebih kompak, lereng yang tersusun oleh perlapisan batuan yang miring searah dengan kemiringan lereng, dan lereng yang tersusun oleh blok-blok batuan.

2. Keadaan geologi

Faktor geologi yang memengaruhi terjadinya gerakan tanah adalah struktur geologi, jenis batuan, umur geologi, dan gempa. Struktur geologi yang mempengaruhi terjadinya pergerakan tanah adalah adanya kontak batuan dengan pelapukan batuan, rekahan, perlapisan batuan, dan patahan. Zona patahan merupakan zona lemah yang mengakibatkan kekuatan batuan berkurang sehingga menimbulkan banyak retakan yang memudahkan air meresap saat musim hujan.

3. Karakteristik tanah

Longsor yang terjadi pada suatu daerah sangat dipengaruhi oleh karakteristik batuan penyusunnya. Kepekaan tanah terhadap longsor menggambarkan mudah

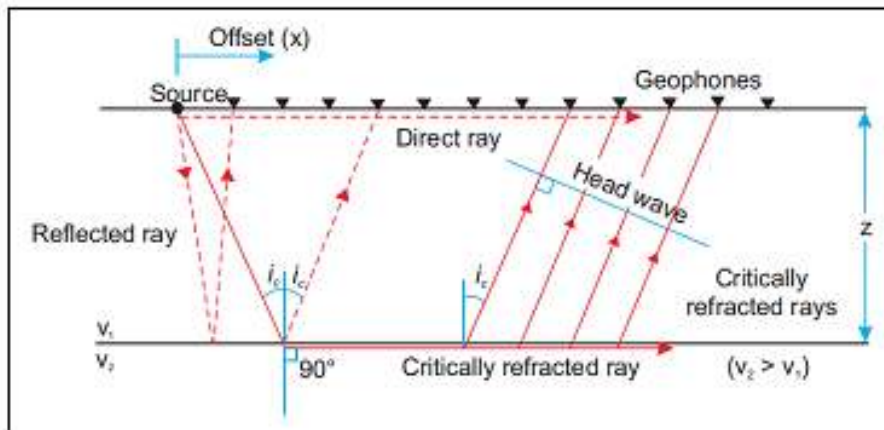
atau tidaknya tanah bergerak atau longsor, sehingga kepekaan tanah terhadap longsor adalah fungsi dari berbagai interaksi sifat-sifat fisik atau kimia tanah.

4. Curah hujan

Umumnya bencana longsor yang terjadi di setiap daerah terjadi pada saat musim hujan. Pada saat musim kemarau terjadi penguapan air di permukaan tanah dalam jumlah yang besar yang mengakibatkan munculnya pori atau rongga tanah hingga terjadi retakan-retakan di permukaan. Ketika hujan terjadi, air akan masuk ke rekahan-rekahan sehingga air terakumulasi di bagian dasar lereng yang dapat menimbulkan gerakan lateral. Hujan dengan intensitas yang tinggi dan terjadi dalam waktu yang lama dapat menyebabkan peningkatan kadar air tanah yang dapat menurunkan ketahanan material tanah/batuan.

2.4. Seismik Refraksi

Metode seismik refraksi menerapkan waktu tiba pertama gelombang dalam perhitungannya. Gelombang P memiliki kecepatan yang lebih besar dibanding kecepatan gelombang S sehingga waktu datang gelombang P yang digunakan dalam perhitungan. Gelombang seismik refraksi yang dapat terekam oleh receiver pada permukaan bumi hanyalah gelombang seismik refraksi yang merambat pada batas antar lapisan batuan. Hal ini dapat terjadi jika sudut datang merupakan sudut kritis atau ketika sudut bias tegak lurus dengan garis normal ($r=90^\circ$ sehingga $\sin r=1$). Gelombang seismik yang merambat di bawah permukaan akan memiliki nilai kecepatan yang berbeda-beda tergantung dari batuan atau material yang dilaluinya. Survei seismik refraksi memanfaatkan fenomena penjalaran gelombang dari sumber getaran yang merambat di bawah permukaan kemudian mengalami refraksi pada batas antar media yang berbeda dan kembali lagi ke permukaan. Sehingga waktu tiba gelombang di setiap receiver akan diamati untuk memperoleh gambaran bawah permukaan (Reynold, 2011).



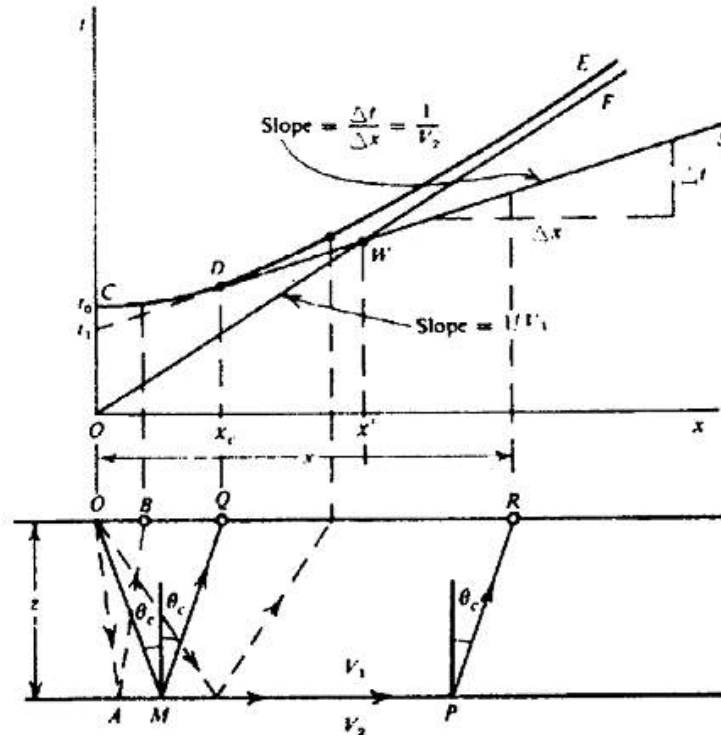
Gambar 2. 4 Pembiasan dengan sudut kritis (Reynold, 2011)

Gelombang seismik yang berasal dari sumber seismik merambat dengan kecepatan V_1 menuju bidang batas A, kemudian gelombang dibiaskan dengan sudut kritis sepanjang interface dengan kecepatan V_2 . Dengan menggunakan prinsip Huygens pada interface, gelombang akan kembali ke permukaan sebagai sumber gelombang yang baru sehingga dapat diterima oleh receiver.

Gelombang yang diterima oleh receiver dapat berupa gelombang langsung (direct wave), gelombang refleksi (reflection wave), ataupun gelombang refraksi (refraction wave). Untuk jarak offset yang relative dekat, gelombang yang paling pertama diterima receiver adalah gelombang refleksi, sedangkan untuk jarak offset yang relative jauh gelombang yang pertama diterima oleh receiver adalah gelombang refraksi. Parameter jarak dan waktu penjalaran gelombang dihubungkan dengan cepat rambat gelombang dalam medium. Besarnya kecepatan rambat gelombang tersebut dikontrol oleh parameter elastisitas setiap batuan (Nurdiyanto, dkk 2011)

Untuk mengidentifikasi ketebalan bawah permukaan dapat diperoleh dengan cara sebagai berikut :

a) *Ketebalan lapisan untuk satu reflector mendatar*



Gambar 2. 5 Hubungan antara penjalanan gelombang refleksi dan refraksi dengan kurva travel time untuk kasus satu reflector (Telford,1990)

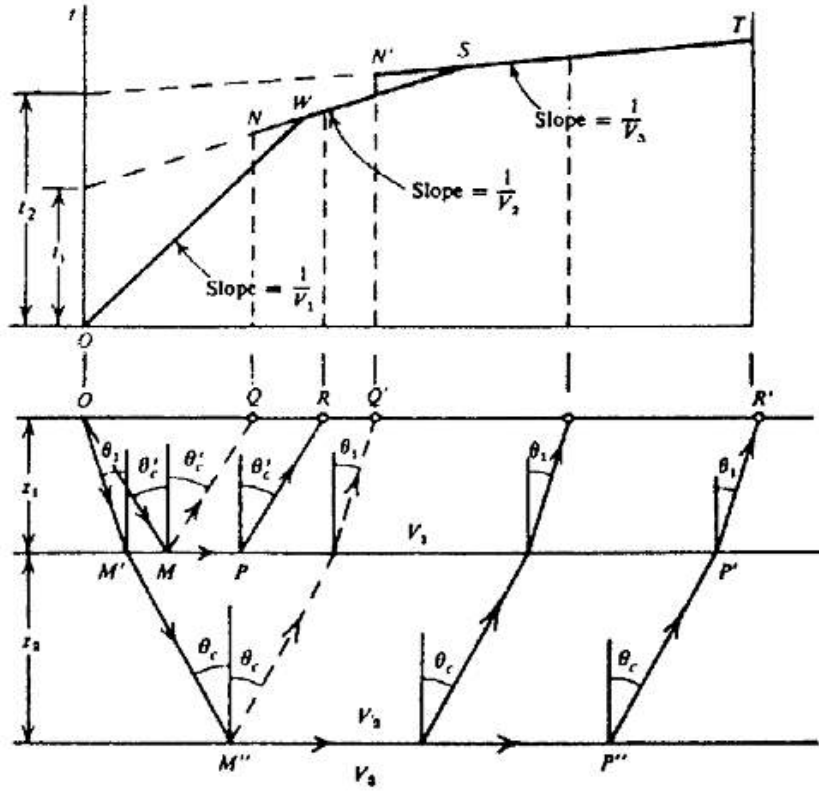
$$t = \frac{x}{V_2} + t_i \quad (2.1)$$

$$t_i = (2 z \cos \theta_c) / V_1 \quad (2.2)$$

$$z = \frac{1}{2} V_1 t_i / \cos \theta_c \quad (2.3)$$

$$z = \frac{x'}{2} \left(\frac{V_2 - V_1}{V_2 + V_1} \right)^{1/2} \quad (2.4)$$

b) Ketebalan lapisan untuk beberapa reflector

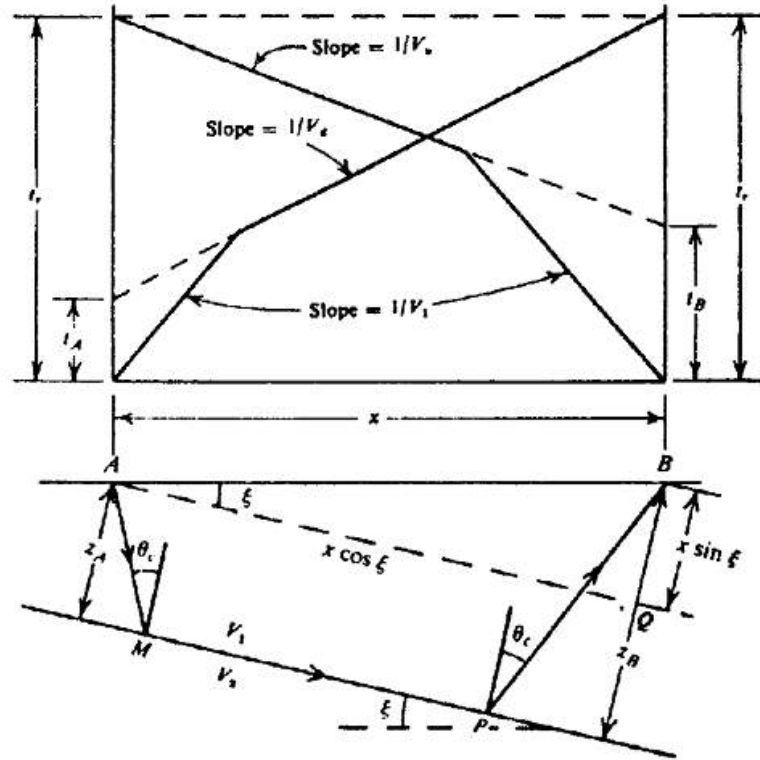


Gambar 2. 6 Penjalaran gelombang dan kurva travel-time untuk kasus 2 reflektor (Telford,1990)

$$t_n = \frac{x}{V_n} + \sum_i^{n-1} \frac{2z_i \cos \theta_i}{V_i} \quad (2.5)$$

$$z_n = \frac{V_n}{2 \cos \theta_n} \left(t_n - \sum_i^{n-1} \frac{2z_i \cos \theta_i}{V_i} \right) \quad (2.6)$$

c) Ketebalan lapisan untuk reflector miring



Gambar 2. 7 Penjalaran gelombang dan kurva travel-time untuk kasus reflector miring (Telford,1990)

$$t_A = \frac{2 z_A}{V_1} \cos \theta_c \quad (2.7)$$

$$t_B = \frac{2 z_B}{V_1} \cos \theta_c \quad (2.8)$$

2.5. Multi-channel Analysis of Surface Waves

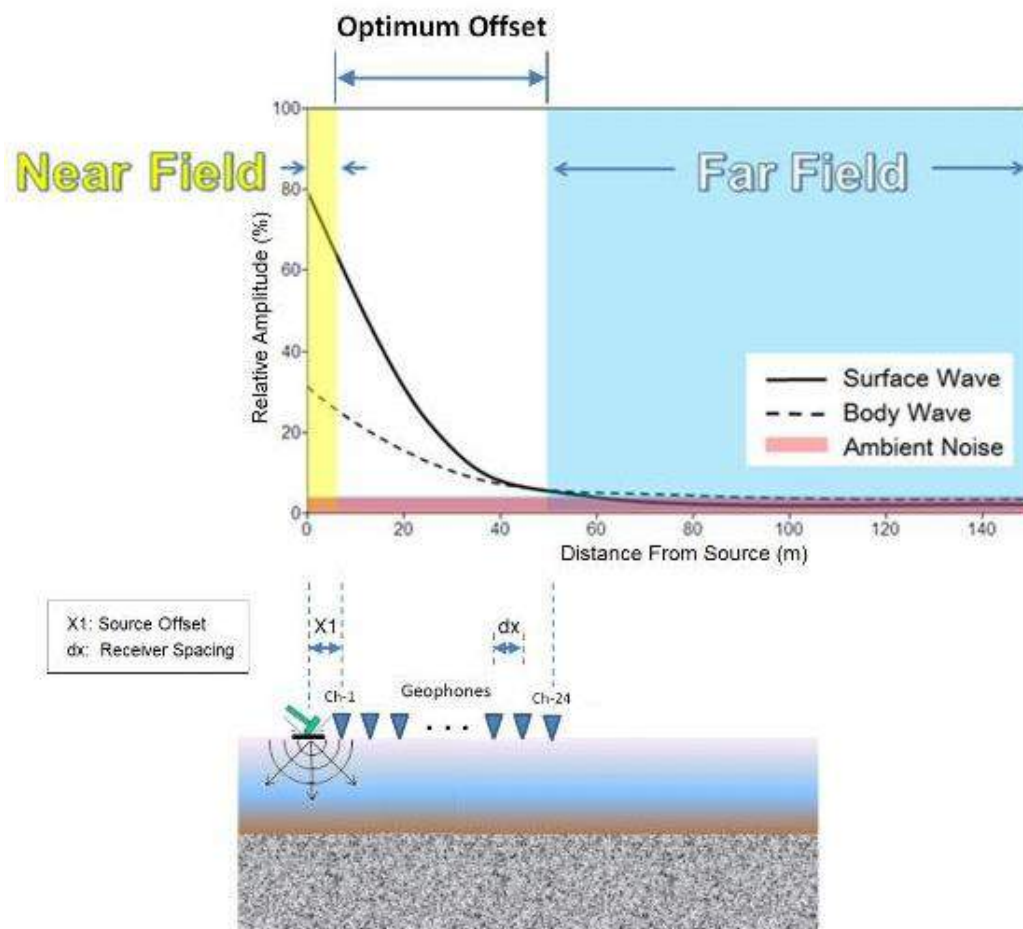
Metode *multi-channel analysis of surface waves* (MASW) merupakan metode yang memanfaatkan gelombang permukaan untuk pengidentifikasian kecepatan gelombang-S V_s . Metode MASW juga lebih memungkinkan dalam mengontrol noise yang terekam selama akuisisi data sehingga dapat menghasilkan

kualitas signal to noise ratio S/N yang baik. Metode ini memanfaatkan sifat dispersi gelombang permukaan *Rayleigh*. Sifat penetrasi gelombang *Rayleigh* dipengaruhi oleh panjang gelombang dan frekuensi (Rosyidi, 2015).

Gelombang *Rayleigh* merupakan gelombang yang merambat di permukaan dengan pergerakan partikel yang menyerupai elips dan kecepatan gelombangnya dalam medium homogen lebih kecil bila dibandingkan dengan kecepatan gelombang geser. Jika terdapat variasi sifat elastik terhadap kedalaman, gelombang ini akan terdispersi sehingga panjang gelombang yang berbeda akan merambat dengan kecepatan yang berbeda pula. Amplitudo gelombang *Rayleigh* akan berkurang dengan bertambahnya kedalaman. Kecepatan gelombang *Rayleigh* dirumuskan sebagai berikut : (Telford et al., 1990)

$$V_R = 0.92\sqrt{V_S} \quad (2.9)$$

Metode *multi-channel analysis of surface waves* (MASW) dibagi menjadi dua yaitu metode MASW aktif dan pasif. Perbedaan metode ini terletak dari sumber gelombang yang digunakan, pada MASW aktif sumber gelombang yang digunakan harus memiliki frekuensi yang tinggi (berupa palu atau weightdrop) sedangkan MASW pasif menggunakan sumber dengan frekuensi rendah (pasang surut air laut, lalu lintas kendaraan, kerumunan pejalan kaki). Karena perbedaan sumber ini, MASW pasif memiliki penetrasi yang lebih dalam dibanding MASW aktif. Kedalaman maksimum yang dapat dicapai tergantung panjang gelombang ($Z_{\max} \approx 0.5 \lambda_{\max}$).



Gambar 2. 8 Skema Near- dan Far- field effect yang bisa terjadi selama survei MASW

Proses akuisisi data MASW aktif terdapat beberapa parameter dalam penentuan letak geophone yang harus diperhatikan. Jika jarak near offset $X1$ terlalu kecil, maka akan terjadi *near field effect* karena gelombang *Rayleigh* tidak terbentuk disekitar sumber, melainkan terbentuk melalui gelombang badan yang mengalami pemantulan dan pembiasan. *Near field effect* merupakan pengaruh lapangan terhadap interferensi gelombang. Untuk menghindari hal demikian, jarak $X1$ harus berada pada rentang 20%-50% dari panjang bentang geophone. Sementara untuk far offset yang terlalu jauh, gelombang badan dan ambient noise menjadi lebih dominan akibat interferensi gelombang (*far field effect*). Meskipun gelombang permukaan jauh lebih kecil dari gelombang badan pada saat penembakan di dekat titik sumber, amplitudo kedua gelombang melemah seiring

bertambahnya offset seperti pada Gambar 2.8. Oleh karena itu, setelah menempuh jarak tertentu energi gelombang permukaan menurun di bawah gelombang badan atau noise. Pada umumnya jarak far offset disesuaikan dengan kedalaman maksimum.

2.5.1 Analisis Kurva Dispersi

Dalam menganalisis kurva dispersi, terdapat beberapa metode yang dapat digunakan. Salah satu metode yang sering digunakan yaitu *phase-shift method* atau lebih dikenal sebagai *wavefield transform method*. Metode ini memanfaatkan teknik transformasi gelombang untuk menghasilkan spectrum kecepatan fase yang berdasarkan pada *shot gather* pada akuisisi MASW (Park et al., 1998). Dalam analisis kurva dispersi dengan metode *phase-shift* terbagi menjadi tiga tahapan, yaitu:

1. Transformasi fourier dan normalisasi amplitudo
2. Penggambaran dispersi
3. Ekstraksi kurva dispersi

Alur ekstraksi kurva dispersi pada phase shift method (Olafsdottir, dkk 2018) :

1. Inport data dan inisialisasi algoritma

- a) Import $u(x, t), N, dx$ and x_1
- b) Penentuan rentang pengujian kecepatan gelombang fasa Rayleigh

$$C_{T,min} \leq C_T \leq C_{T,max}$$

2. Transformasi Forier dan proses normalisasi

- c) $u(x_j, t) \xrightarrow{FFT} \tilde{u}(x_j, \omega) \quad j = 1, 2, \dots, N$
- d) Normalisasi amplitudo dalam dimensi χ dan ω

$$\tilde{u}_{norm}(x_j, \omega) = \frac{\tilde{u}(x_j, \omega)}{|\tilde{u}(x_j, \omega)|} = e^{-j\Phi_j(\omega)}$$

3. Pencitraan dispersi

- e) $\Phi_{T,j}$: Pengubahan fase berdasarkan himpunan ω dan c_T

$$\Phi_{T,j} = \frac{\omega x_j}{c_T} = \frac{\omega(x_1 + (j-1)dx)}{c_T}$$

- f) $A_s(\omega, c_T)$: amplitudo yang dijumlahkan ω dan c_T

$$A_s(\omega, c_T) = \frac{1}{N} (e^{-1\Phi_{T,1}} \tilde{u}_{norm}(x_1, \omega) + \dots + e^{-1\Phi_{T,1}} \tilde{u}_{norm}(x_N, \omega))$$

g) langkah e) and f) diulang untuk variasi ω and c_T

4. Ekstaksi kurva dispersi

h) $A_s(\omega, c_T) \xrightarrow{\text{extract peak values}}$ Kurva dispersi gelombang Rayleigh (s)
dan batas atas/bawah

2.6. Poisson's Ratio

Poisson's ratio merupakan sebuah konstanta elastik yang merepresentasikan sifat fisis suatu batuan. Pada dasarnya *Poisson's ratio* didefinisikan dengan ukuran besarnya regangan pada benda berupa kontraksi pada arah tangensial dan regangan pada arah longitudinal apabila dikenai tekanan (Gercek, 2007).

Hubungan antara *poisson's ratio* σ dengan modulus elastik k dan modulus shear G dituliskan dalam :

$$\sigma = \frac{3k - 2\mu}{6k + 2\mu} \quad (2.10)$$

Dimana,

$$V_P = \sqrt{\frac{k + \frac{4}{3}G}{\rho}} \quad (2.11)$$

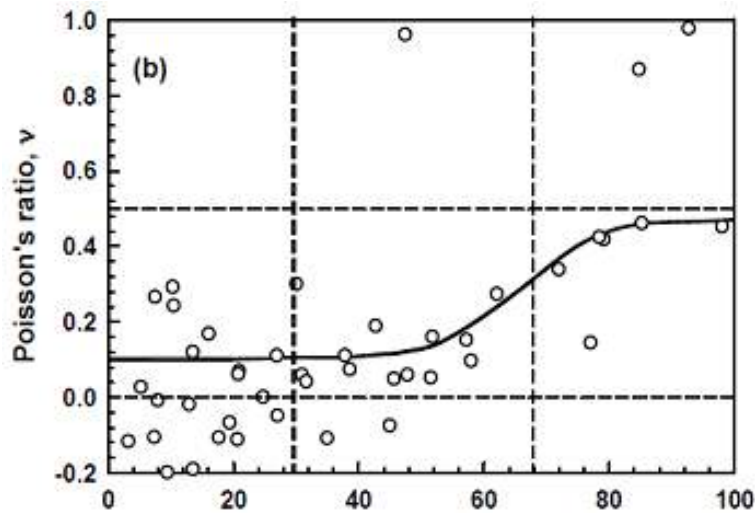
$$V_S = \sqrt{\frac{G}{\rho}} \quad (2.12)$$

Sehingga, nilai *poisson's ratio* apabila persamaan (2.12) dan (2.13) disubstitusi ke persamaan (2.11) adalah :

$$\sigma = \frac{1 (V_P/V_S)^2 - 2}{2 (V_P/V_S)^2 - 1} \quad (2.13)$$

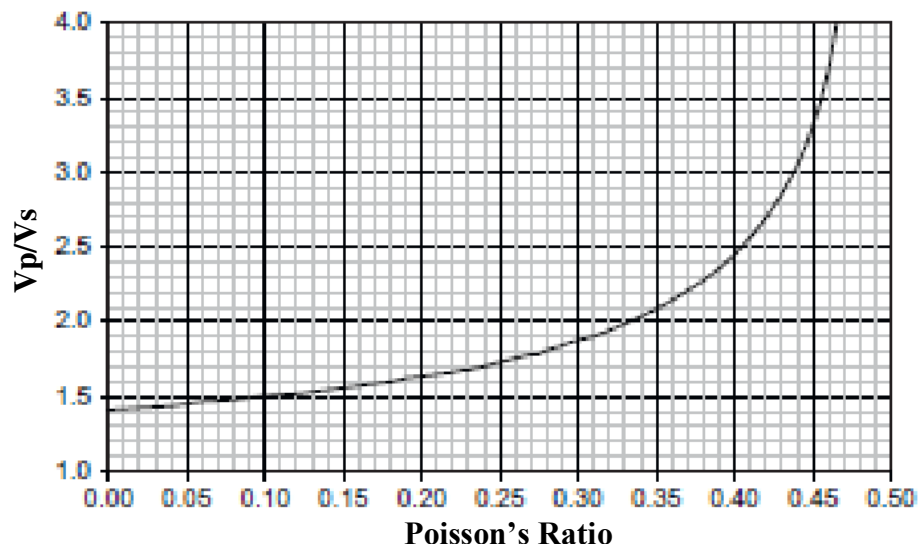
Dari persamaan diatas, *poisson's ratio* merupakan perbandingan antara besar nilai V_p dan V_s pada batuan melalui data seismik, atau *sonic logging*, dan biasa disebut sebagai metode perhitungan secara dinamik. Nilai poisson's ratio

digunakan untuk mengidentifikasi kandungan fluida dalam batuan (Ostrander, 1984). Nilai poisson's ratio akan semakin tinggi apabila pori batuan terisi oleh fluida.



Gambar 2. 9 Pengaruh derajat saturasi terhadap poisson's ratio (Oh and Vanapalli, 2011)

Gambar 2.9 menunjukkan pengaruh derajat saturasi terhadap nilai *poisson's ratio*. Dari gambar tersebut terlihat bahwa derajat saturasi sangat memengaruhi nilai *poisson's ratio*. Hubungan dari kedua parameter tersebut dipengaruhi oleh nilai V_p yang akan meningkat ketika suatu material mengandung fluida dan V_s yang relatif menurun, sehingga nilai rasio V_p/V_s akan meningkat.



Gambar 2. 10 Plot of Poisson's ratio versus Vp/Vs (Schön, 2011)

2.7. Modulus Elastisitas

Modulus geser G dan modulus young E digunakan untuk mengkarakterisasi tanah longsor dari segi kekakuan material tanah. Kedua modulus ini memberikan ukuran kekakuan material tanah. G_0 biasanya digunakan sebagai rasio tegangan geser terhadap regangan geser, dalam hal nilai strain yang sangat kecil ($\gamma_s < 1 \times 10^3$) (Atkinson, 2000). Dari persamaan (2.13 dan 2.14) menunjukkan bahwa nilai V_p dan V_s bergantung pada nilai densitas dan modulus elastisitas material yang dilalui gelombang. Oleh karena itu, jika distribusi kecepatan gelombang-P dan gelombang-S diketahui maka modulus elastisitas dapat dihitung, dengan nilai Modulus Shear dan Modulus Young dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$G_0 = \rho V_s^2 \quad (2.14)$$

$$E = \frac{\rho V_s^2 (3V_p^2 - 4V_s^2)^2}{(V_p^2 - 4V_s^2)} \quad (2.15)$$

2.8. Penelitian Terdahulu

Penyelidikan parameter mekanik lapisan bawah permukaan dengan metode seismik refraksi semakin berkembang. Hasil yang diperoleh dapat

memberikan kontribusi yang realistis dalam penyelesaian problem-problem geologi teknik salah satunya longsor. Penelitian yang telah ada dapat dijelaskan sebagai berikut :

1. (Uhlemann et al., 2016), mengemukakan dalam penelitiannya yang berjudul *“Landslide characterization using P- and S-wave seismic refraction tomography – The importance of elastic moduli”*, bahwa dalam menganalisis kasus longor, heterogenitas tanah baik dari sifat material maupun hidrologi merupakan faktor utama dalam menentukan mekanisme dan penentuan faktor pemicu terjadinya longsor. Dalam penelitian ini, modulus elastis dan poisson's ratio yang dihasilkan dari pengukuran seismik refraksi digunakan untuk mengkarakterisasi longsor. Tujuan utama dalam penelitian ini untuk memperoleh informasi spasial dari kondisi kejenuhan dan kekuatan potensial tanah. Informasi ini sangatlah penting dalam memodelkan longsor dengan akurat. Distribusi kecepatan gelombang seismik menunjukkan zona dengan porositas yang lebih tinggi diinterpretasikan sebagai zona pergerakan massa dan batuan lapuk. Poisson's ratio menunjukkan perbedaan unit litologi dari lempung yang tersaturasi dan sebagian terisi pasir lanauan. Modulus shear dan modulus young menunjukkan sifat lemah dari material dalam bagian longsor aktif.
2. (Yalcinkaya et al., 2016), dalam penelitian yang berjudul *“Near-surface geophysical methods for investigating the Buyukcekmece landslide in Istanbul, Turkey”* menganalisis longsor berdasarkan parameter fisis. Dari hasil penelitian tersebut, ditemukan bahwa bidang longsor yang berkembang pada daerah tersebut terdiri dari unit geologi yang sama yaitu tanah liat formasi Danismen. Analisis kecepatan gelombang S tidak menunjukkan perbedaan kecepatan yang signifikan sepanjang profil kedalaman, selain itu strata geologi tanah longsor tidak begitu berbeda dengan daerah sekitarnya. Kompleksitas struktur tanah longsor juga terlihat dari kecepatan gelombang P, dimana kecepatan gelombang P tidak menunjukkan perbedaan antara bidang longsor dan daerah stabil. Hal ini dikarenakan kedalaman eksplorasi yang sangat dangkal. Kurva H/V dari pengukuran mikrotremor menunjukkan ketebalan dari bidang longsor antara 10 dan 50 m, sedangkan daerah yang stabil (frekuensi resonansi

rendah) berada pada kedalaman 170 hingga 228 m. Kurva H/V menunjukkan puncak-puncak resonansi pada bidang longsor walaupun kecepatan gelombang S tidak menunjukkan perbedaan yang mencolok.

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN

BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian berada di Desa Tugurejo, Kecamatan Slahung, Kabupaten Ponorogo, seperti yang ditunjukkan pada gambar di bawah ini.



Gambar 3. 1 Lokasi Penelitian

3.2 Peralatan dan Data Penelitian

Peralatan yang digunakan dalam penelitian sebagai berikut :

Tabel 3. 1 Peralatan dan bahan yang digunakan dalam penelitian

No	Peralatan	Jumlah	Keterangan
1	Geo Sam	1 set	seismik 24 channel
2	Meteran	2 buah	100 m dan 300 m
3	Palu seismik	1 buah	
4	Plat baja	1 buah	
5	GPS	1 buah	Garmin
6	Laptop	1 buah	
7	Kompas geologi	1 buah	
9	Baterai Accu 12 V	1 buah	
10	software ZondST2D		shareware
11	software SeisImager		shareware

Data yang digunakan dalam penelitian yaitu :

1. Data Raw seismik refraksi untuk 5 lintasan pengukuran.
2. Data Raw MASW untuk 5 lintasan pengukuran.

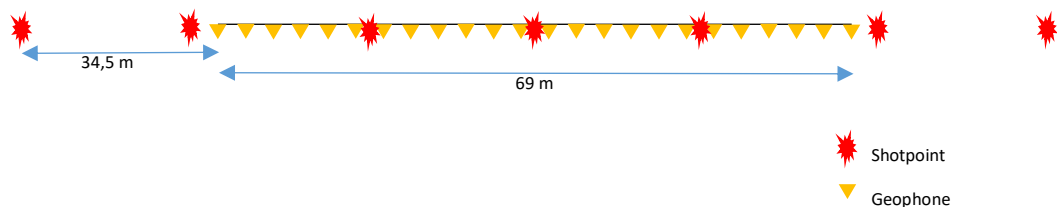
3.3 Akuisisi Data

3.3.1. Tahapan Pelaksanaan Penelitian

Penelitian ini dimulai dengan melakukan interpretasi awal dari data geologi regional dan penelusuran penelitian-penelitian sebelumnya terkait longsor di daerah Ponorogo. Interpretasi tersebut difokuskan pada persebaran batuan penyusun, serta daerah-daerah yang telah mengalami pergerakan tanah. Hasil interpretasi tersebut selanjutnya digunakan untuk merencanakan lintasan dan desain akuisisi untuk pengukuran *Seismic Refraction* dan *MASW*. Perencanaan ini dilakukan agar akuisisi data seismik mewakili kondisi geologi daerah penelitian secara keseluruhan. Akuisisi data di lapangan dilakukan pada tanggal 7-10 April

2018 dengan lintasan pengukuran sebanyak 5 lintasan. Panjang lintasan pengukuran adalah 69 m, dengan jumlah geophone sebanyak 24 dengan jarak antar geophone 3 m. Tiga Lintasan pengukuran dibuat sejajar dengan bidang longsor dengan arah barat laut ke tenggara dan dua lintasan dibuat tegak lurus dengan bidang longsoran. Untuk setiap lintasan pengukuran seismik dilakukan 7 kali penembakan sumber seismik.

Pada tahap selanjutnya, data yang diperoleh dari pengukuran seismik refraksi dan MASW kemudian dilakukan pengolahan data. Dalam pengolahan data seismik refraksi dengan menggunakan *software* dilakukan beberapa tahapan. Tahapan pertama yaitu mencari *first break* dari data yang ditampilkan. Setelah proses *picking first break* dilakukan maka akan diperoleh kurva *traveltime*. Dari kurva *traveltime*, cepat rambat gelombang gelombang P dapat diketahui sehingga gambaran lapisan bawah permukaan dapat dimodelkan. Pengolahan data seismik refraksi dilakukan dengan menggunakan *software ZondST2D*.

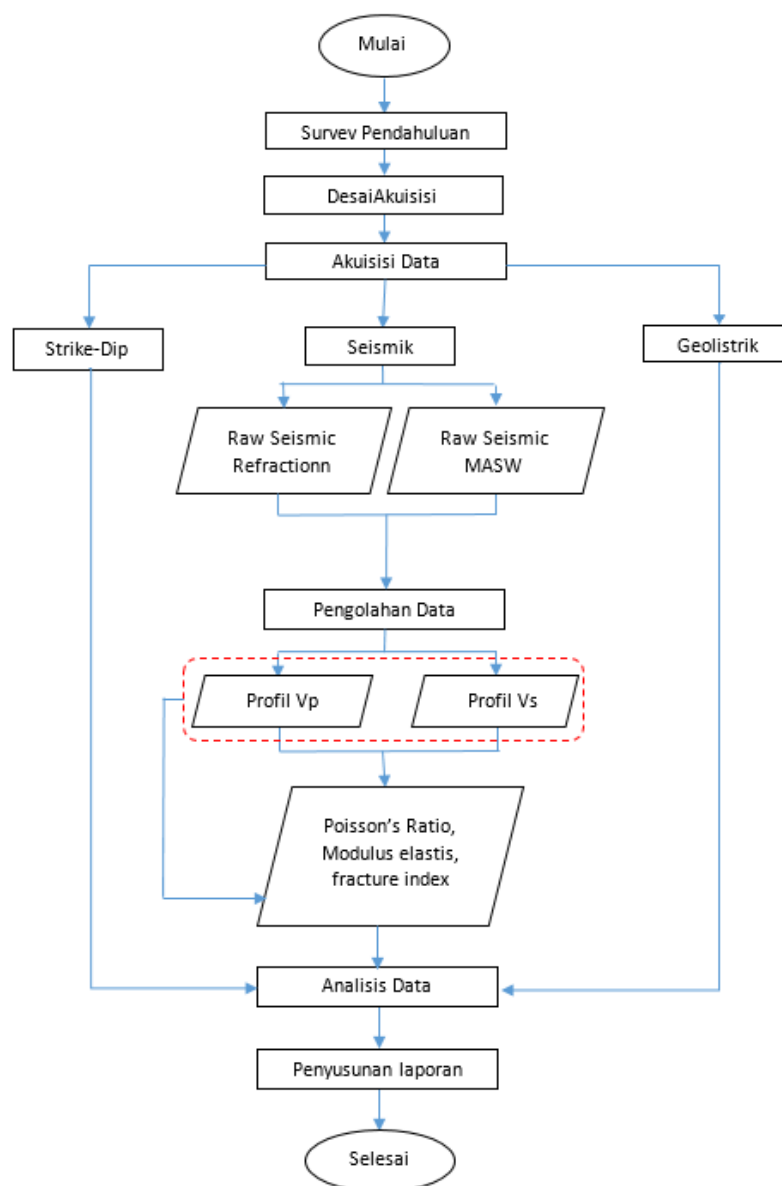


Gambar 3. 2 Desain pengukuran Seismik Refraksi dan MASW

Secara garis besar pengolahan data MASW diawali dengan mengubah domain jarak dan waktu ke domain frekuensi dan kecepatan fasa dengan menggunakan *Fast Fourier Transform* (FFT) sehingga diperoleh kurva disperse mode dasar. Selanjutnya dilakukan proses *picking* pada spektrum kurva dispersi, dimana *picking* dilakukan pada kecepatan fasa yang memiliki frekuensi dominan. Hasil *picking* yang berupa kurva disperse selanjutnya dilakukan inversi untuk memperoleh profil 1D dan 2D kecepatan gelombang S. Pengolahan data MASW dilakukan dengan *software SeisImager*.

Tahapan terakhir yaitu menganalisis hasil interpretasi dari data penampang 2D kecepatan gelombang P dan S untuk mengetahui bagaimana keadaan bawah tanah daerah yang mengalami pergerakan tanah. Dari data kecepatan gelombang P dan S serta data densitas batuan akan diperoleh nilai *Poisson's Ratio*, *modulus young*, dan *modulus shear* yang digunakan untuk menganalisis sifat fisis dan mekanik batuan daerah pengukuran.

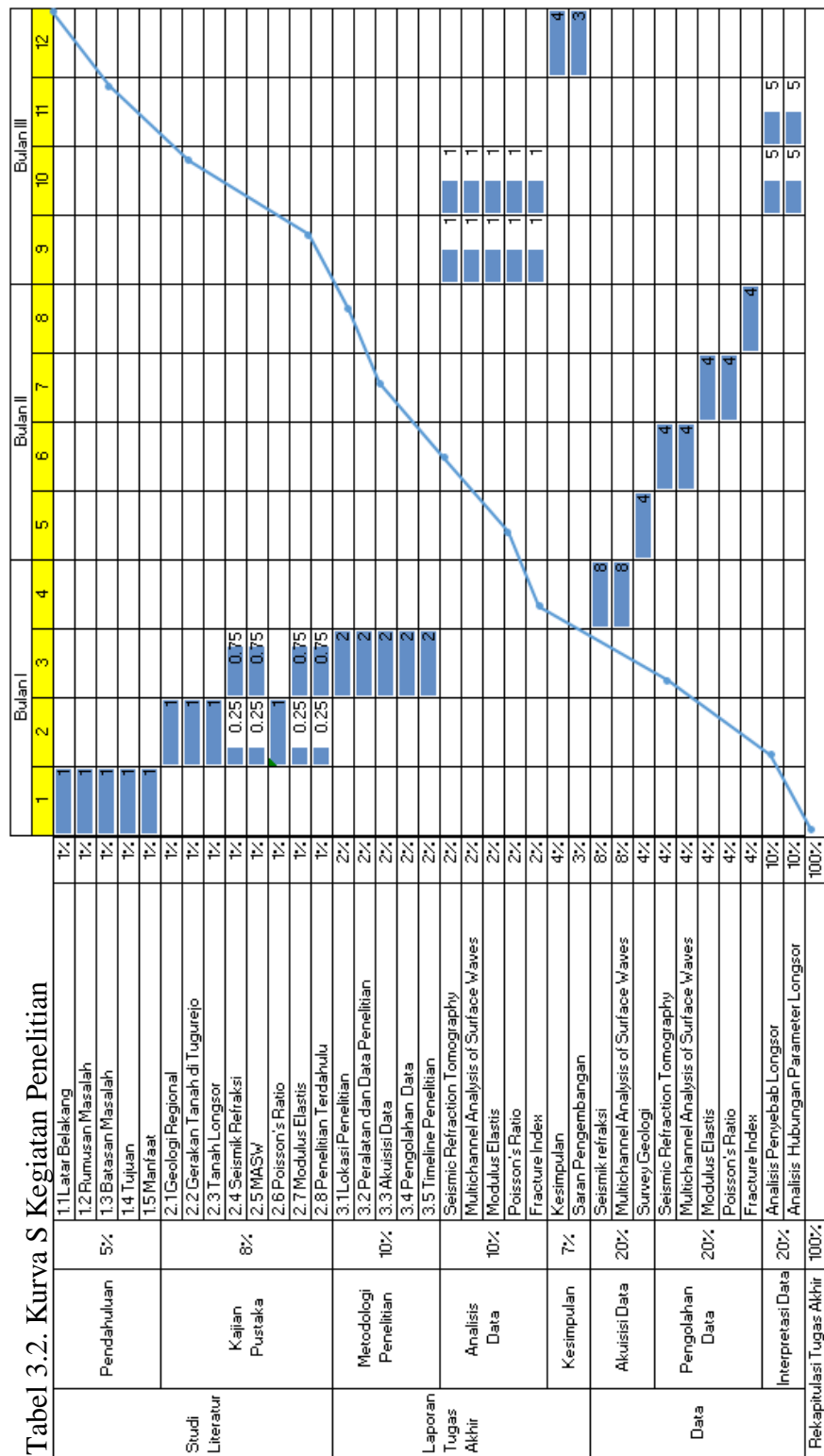
3.3.2. Diagram Alir Penelitian



Gambar 3. 3 Diagram alir penelitian

3.3.3. Jadwal Pelaksanaan

Tabel 3.2. Kurva S Kegiatan Penelitian



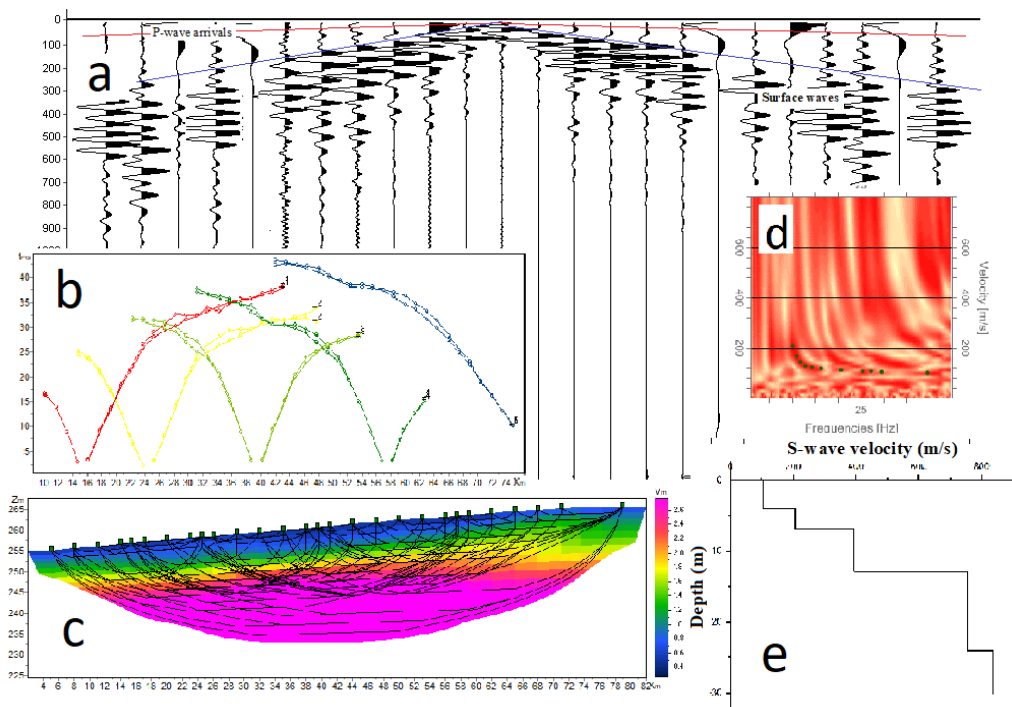
3.4 Pengolahan Data

3.5.1 Pengolahan data seismik refraksi

Pengolahan data seismik refraksi dilakukan dengan cara menentukan gelombang pertama yang datang dari tiap receiver atau geophone dengan bantuan software. Data yang digunakan merupakan data *shotgather* pada tiap titik, dimana tiap titik terdapat 5 *shotgather*. Sebelum melakukan proses picking, data di *filter* dengan band pass filter sehingga meningkatkan *signal to noise ratio*. Picking gelombang pertama dilakukan dengan mempertimbangkan kurva *hodograph* atau kurva panjang bentang terhadap waktu picking gelombang. Setelah dilakukan proses picking, selanjutnya dilakukan proses inversi. Proses inversi dilakukan dengan mempertimbangkan nilai error dan kesesuaian terhadap geologi daerah pengukuran.

3.5.2 Pengolahan data MASW

Pengolahan data MASW dimulai dengan memasukkan data per shot dengan bantuan software. Setelah input data dilakukan, langkah selanjutnya adalah menentukan gelombang Rayleigh pada data yang diperoleh dengan cara melakukan proses picking. Setelah proses picking dilakukan, selanjutnya dilakukan FFT (*fast fourier transform*) untuk merubah seismogram dari domain waktu $f(t)$ menjadi domain frekuensi $f(\omega)$ untuk memperoleh kurva dispersi. Kurva dispersi merupakan kurva frekuensi terhadap kecepatan fase gelombang dengan besar amplitudo gelombang sebagai nilai referensi dalam *picking* kurva. Picking kurva dispersi dilakukan dengan memasukkan model sintetik yang digunakan sebagai data tambahan proses inversi. Model sintetik dan kurva dispersi dari hasil picking manual kemudian digunakan dalam proses inversi untuk mendapatkan model bawah permukaan sebenarnya. Hasil inversi yang diperoleh berupa profil Vs 1D. Untuk memperoleh profil Vs 2D tiap lintasan pengukuran, maka dilakukan proses interpolasi dari tiap *shotgather*. Berdasarkan desain akuisisi dan parameter-parameter pengukuran yang telah ditentukan, maka penetrasi kedalaman yang diperoleh akan mencapai kedalaman 30 m (Park et al., 2007).



Gambar 3. 4 Proses pengolahan data seismik refraksi dan MASW. (a, b, c proses pengolahan seismik refraksi; a, d, e proses pengolahan MASW)

3.5.3 Perhitungan Sifat Mekanika Batuan

Pehitungan *poisson's ratio* dilakukan setelah nilai V_p dan V_s diperoleh. Nilai *poisson's ratio* diperoleh dengan menggunakan persamaan dengan pendekatan V_p dan V_s . Tiap profil 2D V_p dan V_s diubah ke grafik fungsi kedalaman tiap receiver atau geophone berdasarkan nilai dari tiap pixel profil 2D. setelah nilai kecepatan dalam fungsi kedalaman diperoleh dari tiap receiver, selanjutnya dilakukan perhitungan nilai *poisson's ratio* dengan menggunakan persamaan (2.15). Hasil yang diperoleh kemudian dibuat profil 2D berdasarkan nilai *poisson's ratio* tiap receiver dengan fungsi kedalaman.

Hal yang sama juga dilakukan dalam menentukan nilai *modulus young* dan *modulus shear*. Dimana perhitungan *modulus young* menggunakan persamaan (2.17), dan perhitungan *modulus shear* menggunakan persamaan (2.16). Nilai

densitas dalam perhitungan kedua modulus ini diperoleh dari hasil uji lab berdasarkan sampel batuan yang diperoleh dari lokasi pengukuran.

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Geologi Tugurejo

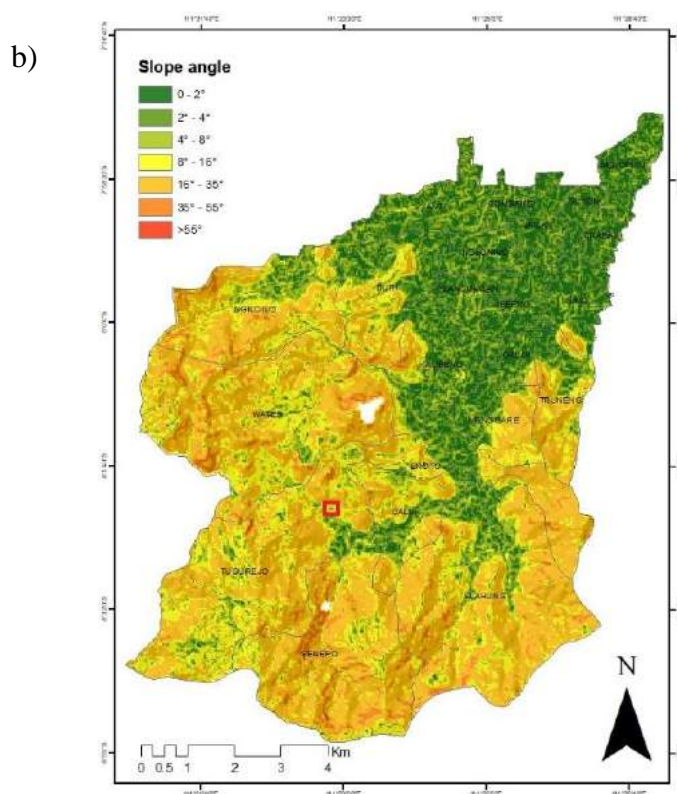
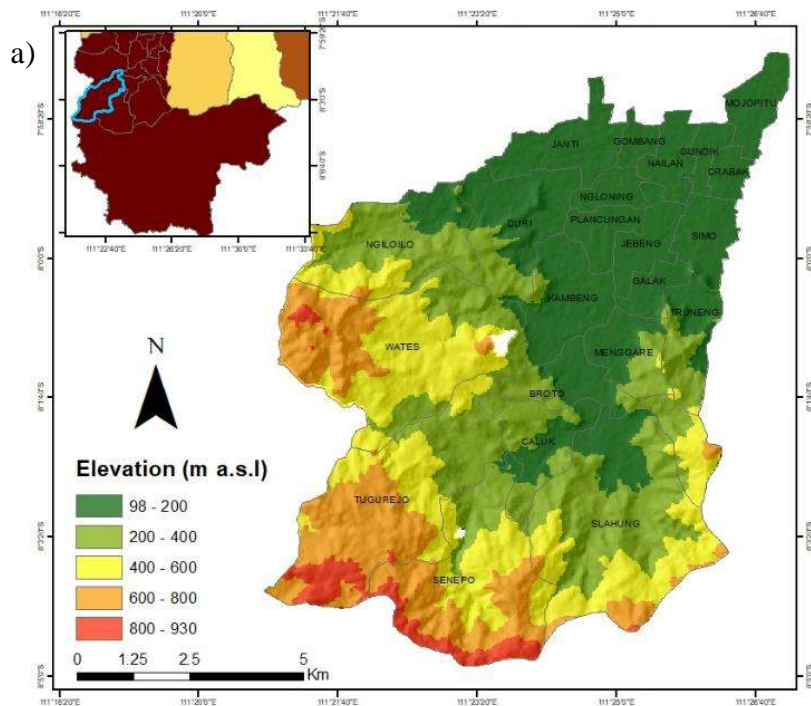
Geomorfologi dan struktur geologi merupakan faktor-faktor yang dapat menjelaskan keadaan geologi daerah Tugurejo. Faktor-faktor tersebut memiliki keterkaitan satu sama lain dalam menganalisa kejadian yang telah terjadi di daerah penelitian

4.1.1 Geomorfologi Tugurejo

Geomorfologi Tugurejo hanya ditinjau dari aspek morfometri. Morfometri merupakan suatu bentuk lahan yang ditinjau dari segi kuantitatif seperti kemiringan lereng (Zuidam, 1986). Aspek morfometri dianalisis dari data elevasi dan kemiringan lereng dengan menilai secara kuantitatif bentuk lahan daerah penelitian. Nilai-nilai kemiringan lereng yang diperoleh kemudian diklasifikasikan berdasarkan klasifikasi Van Zuidam (1986).

Kelas ketinggian dibagi menjadi 5 kelas yaitu, kelas sangat rendah (dengan ketinggian 98-200 mdpl), rendah (200- 400 mdpl), menengah (400-600 mdpl), tinggi (600 - 800 mdpl), sangat tinggi (800-930 mdpl) (Gambar 4.1a). Semakin tinggi elevasi suatu daerah, maka semakin besar tingkat kerentanan tanah. Di kecamatan Slahung, wilayah dengan elevasi rendah berada di wilayah Utara, sedangkan di wilayah Selatan memiliki elevasi yang relatif tinggi, termasuk juga daerah penelitian dan pengambilan data, yaitu Desa Tugurejo. Desa Tugurejo sebagai daerah penelitian dan pengambilan data merupakan daerah dengan ketinggian beragam, dari ketinggian terendah (dibawah 100 mdpl) hingga yang tertinggi (< 800 mdpl), hal ini menyebabkan adanya perbedaan ketinggian yang signifikan.

Hasil pengolahan data elevasi didapatkan peta kemiringan lereng dan informasi secara kuantitatif dari kemiringan lereng di daerah penelitian (Gambar 4.1b). Daerah Slahung memiliki kemiringan lereng yang lengkap berdasarkan klasifikasi tersebut. Semakin curam tingkat kemiringan lereng suatu daerah, maka akan semakin besar resiko terkena longsor.



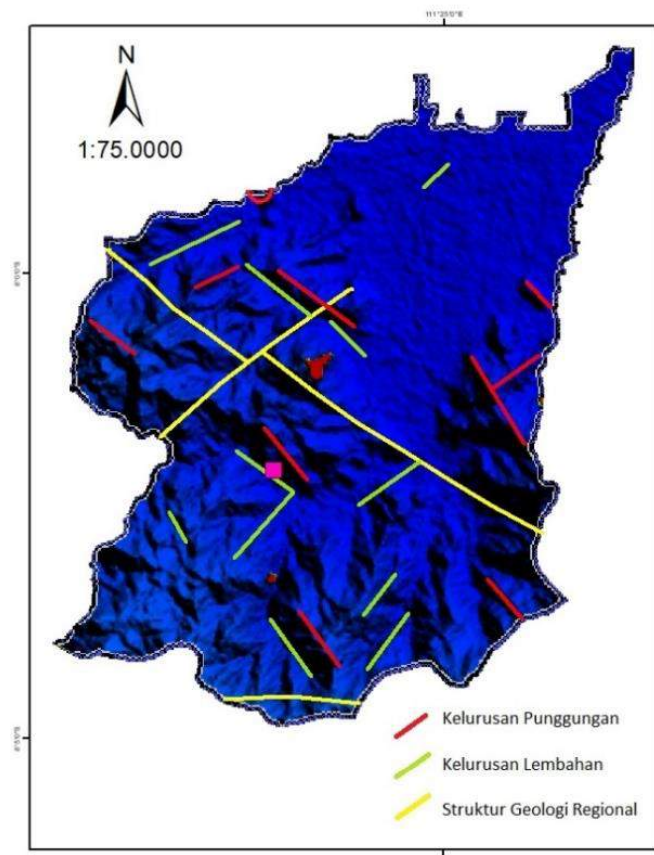
Gambar 4. 1 (a) DEM daerah Slahung; (b) kemiringan lereng daerah Slahung (kotak merah: lokasi pengukuran)

Desa Tugurejo sebagai daerah penelitian merupakan daerah memiliki kelas kemiringan lereng yang bervariasi mulai dari kemiringan lereng datar hingga kemiringan lereng yang curam ekstrim tetapi lebih didominasi oleh kemiringan lereng yang curam (16° - 35°). Untuk daerah pengambilan data merupakan daerah yang memiliki kemiringan lereng mulai dari curam hingga landai dengan dominasi oleh lereng agak curam dengan kemiringan lereng 8° - 16° (Van Zuidam, 1986). Gambar 4.1b merupakan kenampakan dari morfologi di sekitar desa Tugurejo, yang memperlihatkan perbukitan dan lembahan yang curam.

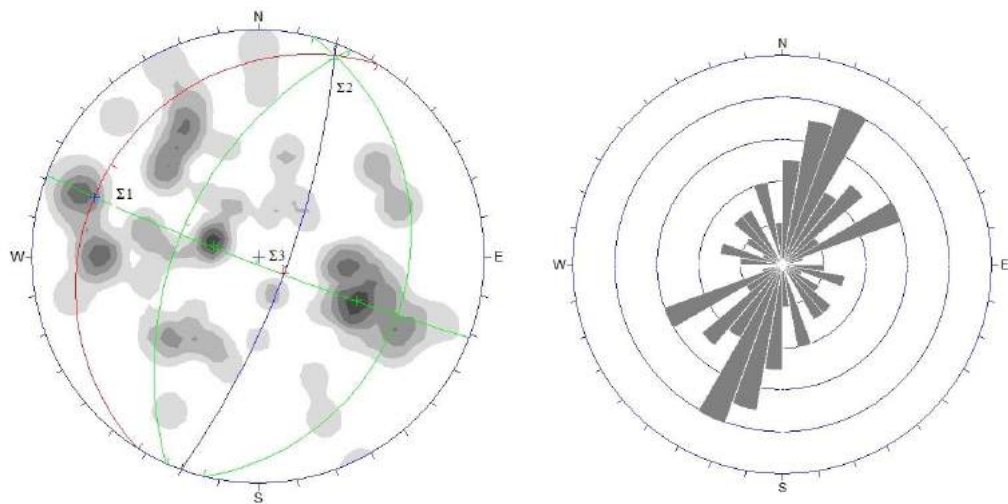
4.1.2 Struktur Geologi

Struktur geologi yang terdapat pada daerah penelitian diinterpretasikan berdasarkan pada pengamatan dan pengkajian data citra *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) dan peta geologi regional.

Berdasarkan analisa citra SRTM, terdapat beberapa pola kelurusan pada daerah Slahung namun secara umum dapat dikelompokkan menjadi dua arah utama yaitu kelurusan yang berpola BaratLaut – Tenggara dan TimurLaut – BaratDaya. Dari hasil analisa pola kelurusan punggung dan lembahan daerah potensi longsor desa Tugurejo berada diantara dua kelurusan punggung dan lembahan yang berarah BaratLaut-Tenggara yang merupakan pola dari kelurusan sesar mendatar di sebelah Utara daerah penelitian. Hasil penelitian (Yusof et al., 2011) menunjukkan adanya korelasi antara kelurusan dengan daerah rentan longsor dimana daerah yang memiliki kerapatan *lineament* lebih rentan terjadi longsor.



Gambar 4. 2 Hasil analisa struktur geologi daerah penelitian berdasarkan citra SRTM (Sumber Citra SRTM : Earth Explorer, USGS).



Gambar 4. 3 Analisis data kekar dalam stereonet

Hasil pengolahan data kekar meliputi *shear fracture*, *tension fracture*, dan *release fracture*. Kekar-kekar di sekitar lokasi pengukuran memberikan kontribusi ketidakstabilan lereng. Berdasarkan analisis kekar (Gambar 4.3) memperlihatkan arah kekar dari *release*, *tension*, dan *shear fracture* yang berarah BaratDaya-TimurLaut. Arah ini searah dengan arah longsoran.

4.2 Gelombang-P

Tahap akuisisi data seismik refraksi dilakukan dengan desain survey empat lintasan. Dua lintasan dibuat tegak lurus dengan arah bidang gelincir (TimurLaut-BaratDaya), satu lintasan tegak lurus dengan bidang gelincir (BaratLaut-Tenggara), dan lintasan terakhir dibuat di pinggiran jalan bagian bawah lereng sebagai pembandingan hasil interpretasi bawah permukaan bagian longsor dengan daerah yang lebih dianggap stabil.

Akuisisi data seismik refraksi memperoleh data penjaralan *travel time* gelombang seismik. Data yang diperoleh kemudian dimasukkan ke dalam *software* pengolahan data untuk melakukan proses *picking first break*. Setelah data di-*picking* maka dilanjutkan dengan proses inversi 2D. Metode inversi yang digunakan adalah metode inversi *occam* untuk memperoleh gambaran bawah permukaan kecepatan gelombang-P.

Hasil analisis seismik-refraksi penampang 2D (Gambar 4.5) dapat menjelaskan struktur bawah permukaan daerah penelitian. Model kecepatan gelombang-P pada Gambar 4.5a menunjukkan kecepatan sangat rendah hingga kecepatan cukup tinggi dengan nilai berkisar antara 500 m/s hingga 2800 m/s dengan kedalaman hingga 25 m. Jika diamati dari kontras kecepatan gelombang-P yang diperoleh, maka penampang seismik refraksi dapat dikelompokkan menjadi 3 bagian lapisan. Lapisan pertama berkisar antara 500 m/s hingga 1200 m/s. Ketebalan lapisan ini 5 m di bawah permukaan pada lintasan kedua yang sejajar dengan bidang gelincir, di lintasan pertama ketebalan lapisan ini mencapai 9 m. Letak lintasan pertama berada di bagian atas atau bagian BaratLaut bidang gelincir, tempat ditemukannya retakan-retakan dipermukaan.

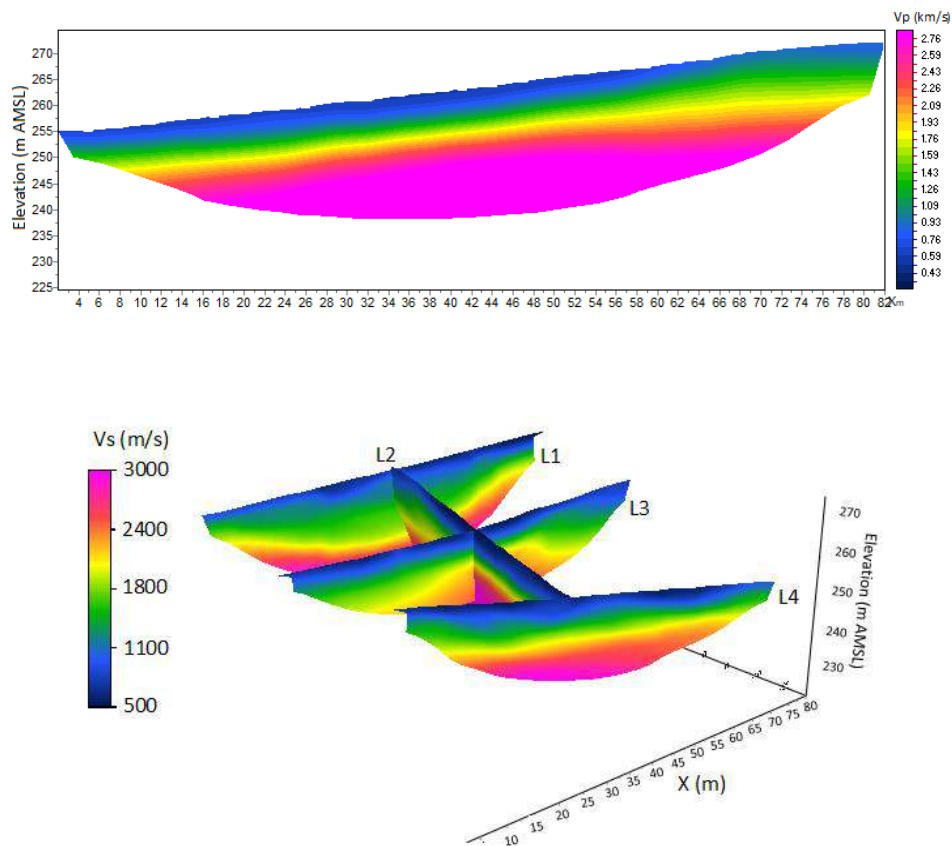
Tabel 4. 1 Kecepatan gelombang-P dan densitas batuan daerah penelitian

Sampel	Nama Batuan	Ketinggian (m AMSL)	Vp (m/s)	Densitas (g/cm ³)
S1	Lapisan lapuk	266	820	1,883
S2	Konglomerat lapuk	248	1420	2,011
S3	Konglomerat	222,43	2630	2,364
S4	Lava	290,47	3680	2,677



Gambar 4. 4 Lokasi pengambilan sampel batuan

Lapisan kedua dengan rentan ke cepatan antara 1200 m/s hingga 1600 m/s. Dari hasil analisis petrofisika nilai kecepatan gelombang pada lapisan ini sebanding dengan nilai kecepatan gelombang-P pada batuan konglomerat lap uk sampel S2 yaitu 1420 m/s. Model kecepatan gelombang-P lintasan kedua Gambar 4.5a menunjukkan bahwa lapisan ini memiliki ketebalan hingga 10 m di bagian BaratLaut lintasan pengukuran dan hasil itu juga sama dengan hasil yang ditunjukkan pada model kecepatan lintasan pertama Gambar 4.5b.



Gambar 4. 5 Profil kecepatan gelombang-P. a) lintasan 2; b) 3D Kecepatan gelombang-P

Lapisan terakhir dari model kecepatan gelombang-P memiliki rentan kecepatan antara 1600 m/s hingga 2800 m/s. lapisan ini diinterpretasikan sebagai lapisan konglomerat berdasarkan hasil analisis petrofisika batuan yang diperoleh di tempat penelitian dengan nilai 2630 m/s. lapisan ini berada di bawah 15 m dibagian Baratlaut dan 10 m di bagian Tenggara bidang gelincir.

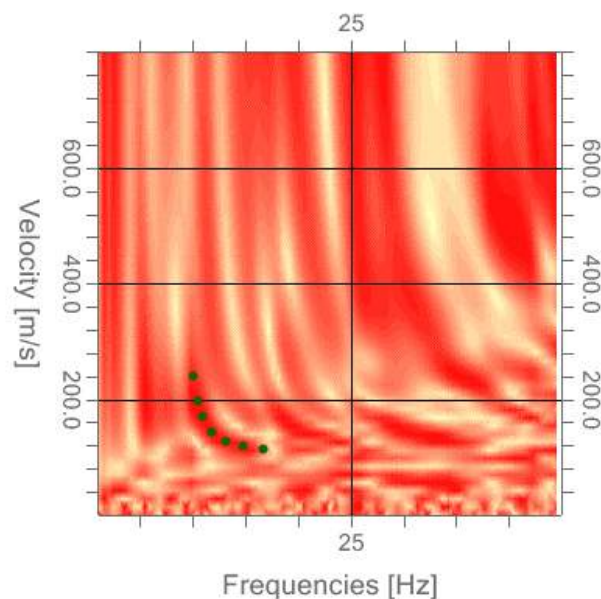
4.3 Gelombang-S

Profil 1D kecepatan gelombang-S ditentukan dari susunan satu lintasan pengujian MASW yang mewakili sifat bahan sepanjang lintasan pengukuran. Oleh karena itu, untuk menentukan profil 2D bawah permukaan diperlukan beberapa rekaman data seismik dalam satu lintasan pengukuran dengan melakukan pemindahan sumber getaran atau *shotpoint*. Untuk memperoleh data seismik yang

berkualitas baik, beberapa parameter dalam konfigurasi lapangan perlu diperhatikan dan ditentukan dengan benar.

Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.2 bahwa jarak antar geophone ditentukan sebesar 3 m, konfigurasi ini ditentukan untuk mendapatkan rekaman data hingga kedalaman 30 m (Park et al., 2007). Setelah rekaman data seismik diperoleh, selanjutnya terdapat beberapa tahapan pemrosesan dan analisis data seismik, seperti yang dijelaskan pada bab sebelumnya.

Gambar 4.6 menunjukkan hasil perhitungan kurva dispersi pada salah satu *shotpoint* pengukuran MASW. Dari kurva dispersi tiap lintasan diperoleh informasi bahwa distribusi energi kurva disperse kecepatan fase tergolong dalam pola kurva dispersi normal dimana lapisan permukaan tanah merupakan media berlapis dengan nilai kecepatan gelombang-S yang terus meningkat seiring dengan bertambahnya kedalaman. Dalam pola dispersi yang ditunjukkan setiap lintasan pengukuran, mode fundamental terlihat mendominasi dibanding mode tinggi.



Gambar 4. 6 Kurva dispersi hasil pengukuran MASW

Tahapan selanjutnya yaitu analisis inversi untuk memperoleh profil 1D kecepatan gelombang-S dari setiap *shotpoint* pada tiap lintasan pengukuran.

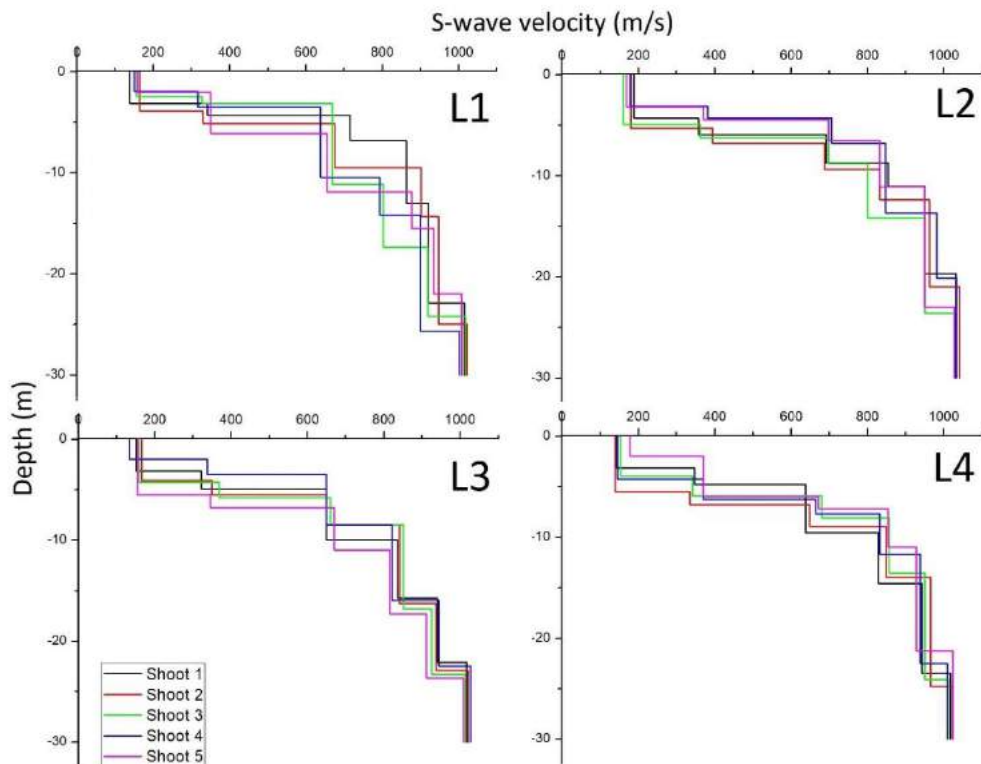
Sehingga masing-masing lintasan pengukuran akan diperoleh lima profil 1D kecepatan gelombang-S. Proses inversi kurva dispersi dilakukan dengan menggunakan *forward modelling* perambatan gelombang Rayleigh dalam media berlapis. Pada pemodelannya digunakan model awal dengan enam lapisan dengan mengacu pada hasil analisis seismik refraksi yang memperoleh tiga lapisan dengan perbedaan kontas kecepatan gelombang-P, dengan asumsi tiap lapisan memiliki dua nilai atau tingkat kecepatan yang berbeda seiring bertambahnya kedalaman. Analisis inversi yang dijalankan hanya mempertimbangkan mode fundamental perambatan gelombang permukaan (seperti yang terlihat pada energi dominan dalam kurva dispersi). Gambar 4.7 memperlihatkan profil 1D kecepatan gelombang-S pada setiap lintasan pengukuran.

Hasil umum dari profil 1D kecepatan gelombang-S adalah adanya perbedaan yang kontras dari kecepatan tiap lapisan. Secara umum, terdapat peningkatan kecepatan gelombang yang signifikan seiring bertambahnya kedalaman untuk setiap lintasan. Kecepatan gelombang-S yang sangat rendah sekitar 150 m/s hingga 200 m/s pada lapisan paling atas dan meningkat hingga rata-rata 1000 m/s mulai dari kedalaman 23 m untuk setiap lintasan pengukuran. Dengan kata lain, di area yang lebih dalam dari 23 m, kecepatan gelombang-S mulai sama untuk seluruh bidang. Perlu diperhatikan juga bahwa berdasarkan penelitian-penelitian sebelumnya, kecepatan gelombang-S umumnya lebih rendah dalam batas tanah longsor bila dibanding dengan daerah disekitarnya yang lebih stabil (Uhlemann et al., 2016; Yalcinkaya et al., 2016).

Perbedaan kecepatan gelombang-S yang sangat kontras untuk semua lintasan terjadi pada lapisan pertama dan kedua dibanding dengan lapisan lainnya. Lapisan pertama untuk setiap lintasan rata-rata 180 m/s dan meningkat pada lapisan kedua dengan rata-rata 350 m/s. Selanjutnya, pada lapisan ketiga kecepatan meningkat jauh hingga rata-rata 650 m/s. Peningkatan kecepatan gelombang-S mulai stabil pada lapisan empat dan seterusnya. Perbedaan nilai kecepatan ini diindikasikan berkaitan dengan geometri tanah longsor.

Gambar 4.7 profil 1D gelombang-S pada lintasan 4 terlihat lebih stabil dibanding dengan lintasan lainnya dalam hal penetrasi kecepatan gelombang

terhadap kedalaman. Hal ini berkaitan dengan lokasi pengukuran lintasan 4 yang lebih stabil yaitu di bawah lereng, dekat jalan nasional. Sedangkan pada lintasan 1, terlihat lebih bervariasi terhadap kedalaman. Hal ini dikarenakan pada lintasan 1 berada pada bagian atas yang sejajar dengan longsor. Dan di dekat lintasan juga merupakan lokasi terjadi pergerakan-pergerakan tanah yang berdampak pada rusaknya beberapa bangunan sekitar. Sedangkan lintasan 2 merupakan lintasan yang didesain sejajar dengan lereng sehingga dalam penampang 1D yang diperoleh juga memperlihatkan nilai penetrasi kedalaman yang bervariasi untuk tiap nilai kecepatan gelombang-S.



Gambar 4. 7 Profil 1D kecepatan gelombang-S dan kedalaman untuk setiap lintasan

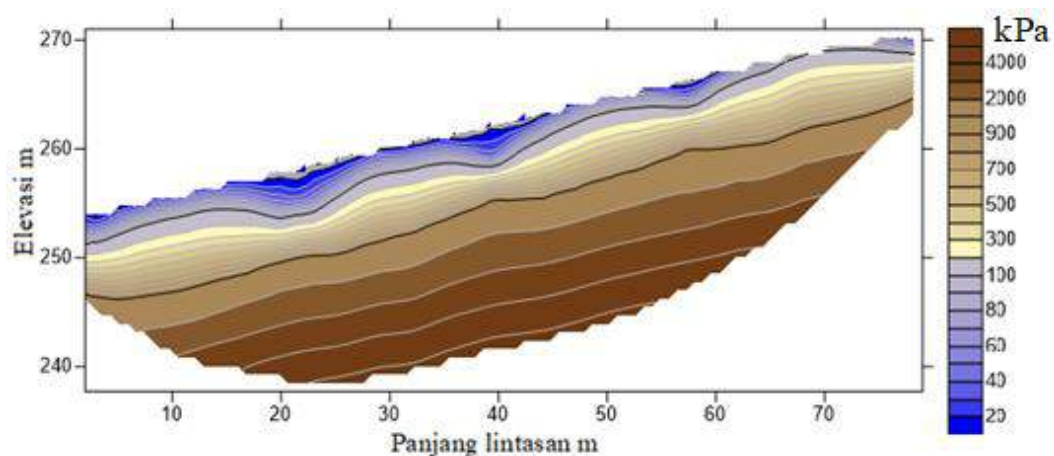
Berdasarkan nilai V_s yang diperoleh, nilai V_{s30} wilayah penelitian memiliki rentang antara 564,72-615,14 m/s. Berdasarkan nilai V_{s30} tersebut, daerah penelitian dapat dikategorikan sebagai daerah dengan tanah sangat padan dan batuan lunak berdasarkan klasifikasi situs SNI 1726-2012. Hasil pengukuran terhadap daerah Tugurejo berkesesuaian dengan keadaan topografi, dimana pada

umumnya daerah dengan dataran tinggi juga memiliki nilai rata-rata Vs30 relatif lebih tinggi.

Penentuan nilai Vs30 suatu daerah pada dasarnya juga dapat dilakukan dengan menggunakan rumus empiris. Salah satu perhitungan nilai Vs30 dengan menggunakan rumus empiris adalah Vs30 pada website USGS. Nilai Vs30 yang diperoleh merupakan fungsi dari topografi. Hasil yang diperoleh dari Vs30 USGS dengan Vs30 lapangan tentu memiliki perbedaan. Nilai Vs30 yang diperoleh lapangan memiliki rentang antara 564,72-615,14 m/s, sementara nilai Vs30 dari USGS 650-720 m/s. Perhitungan Vs30 lapangan seharusnya memiliki tingkat akurasi yang lebih tinggi dibanding dengan perhitungan menggunakan rumus empiris. Namun Vs30 USGS dapat digunakan sebagai acuan dalam pengolahan data pengukuran lapangan.

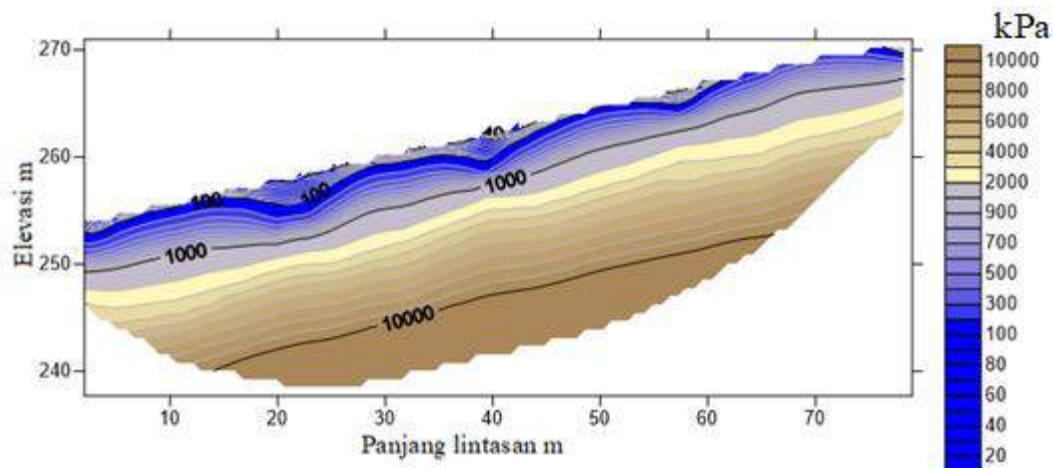
4.4 Modulus Elastisitas

Model densitas (Gambar 4.8) diperkirakan berdasarkan berdasarkan analisis nilai densitas sampel yang diperoleh di lapangan (Tabel 4.1) dan mempertimbangkan pola persebaran nilai Vs yang diamati (Gambar 4.7). Pengamatan nilai densitas tiap lapisan dilakukan berdasarkan nilai modulus shear dan modulus young, karena nilai yang diperoleh menunjukkan hubungan yang linear dengan variabel densitas tiap lapisan dan kuadratik nilai Vs. Hasil yang diperoleh (Gambar 4.8) menunjukkan nilai densitas batuan yang meningkat terhadap kedalaman.



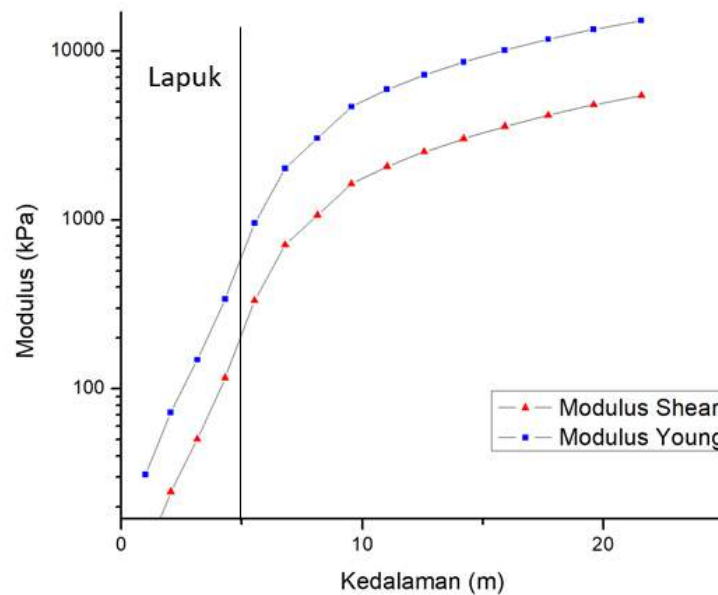
Gambar 4. 8 Modulus shear lintasan 2

Analisis modulus elastis yang diperoleh dari V_p , V_s , dan densitas menunjukkan adanya nilai modulus elastis yang sangat rendah dari setiap lintasan pengukuran. Gambar 4.8 menunjukkan distribusi *modulus shear* pada lintasan 2 yang dibuat sejajar dengan bidang longsor. *Modulus shear* yang diperoleh pada lapisan lapuk (5 m di bawah permukaan) menunjukkan nilai yang rendah (< 200 kPa). Nilai *modulus shear* pada lempung dan pasir dengan densitas yang sangat rendah adalah 50 kPa, nilai ini sangat jauh berbeda dengan nilai yang diperoleh. Hal ini dipengaruhi oleh perbedaan densitas. Dibawah lapisan ini nilai *modulus shear* semakin meningkat dari 200 kPa hingga 2 MPa pada kedalaman 11 m. Lapisan selanjutnya nilai *modulus shear* meningkat hingga 3 MPa.



Gambar 4. 9 Modulus young lintasan 2

Hasil analisis *modulus young* pada lapisan lapuk menunjukkan nilai < 500 kPa. Jika dibandingkan dengan nilai *modulus young* pada lempung yang memiliki tingkat plastisitas yang tinggi (350 kPa; Uhlemann, dkk (2016)), maka dengan nilai densitas yang dimiliki lapisan lapuk pada daerah penelitian dapat dikategorikan sebagai lapisan dengan tingkat plastisitas yang tinggi juga. Di bawah lapisan ini, nilai *modulus young* meningkat dengan cepat, lebih dari 1 MPa di bawah kedalaman 5 m. Nilai *modulus young* tertinggi (16 MPa) terukur di lintasan ke 2 pada kedalaman 20 m.



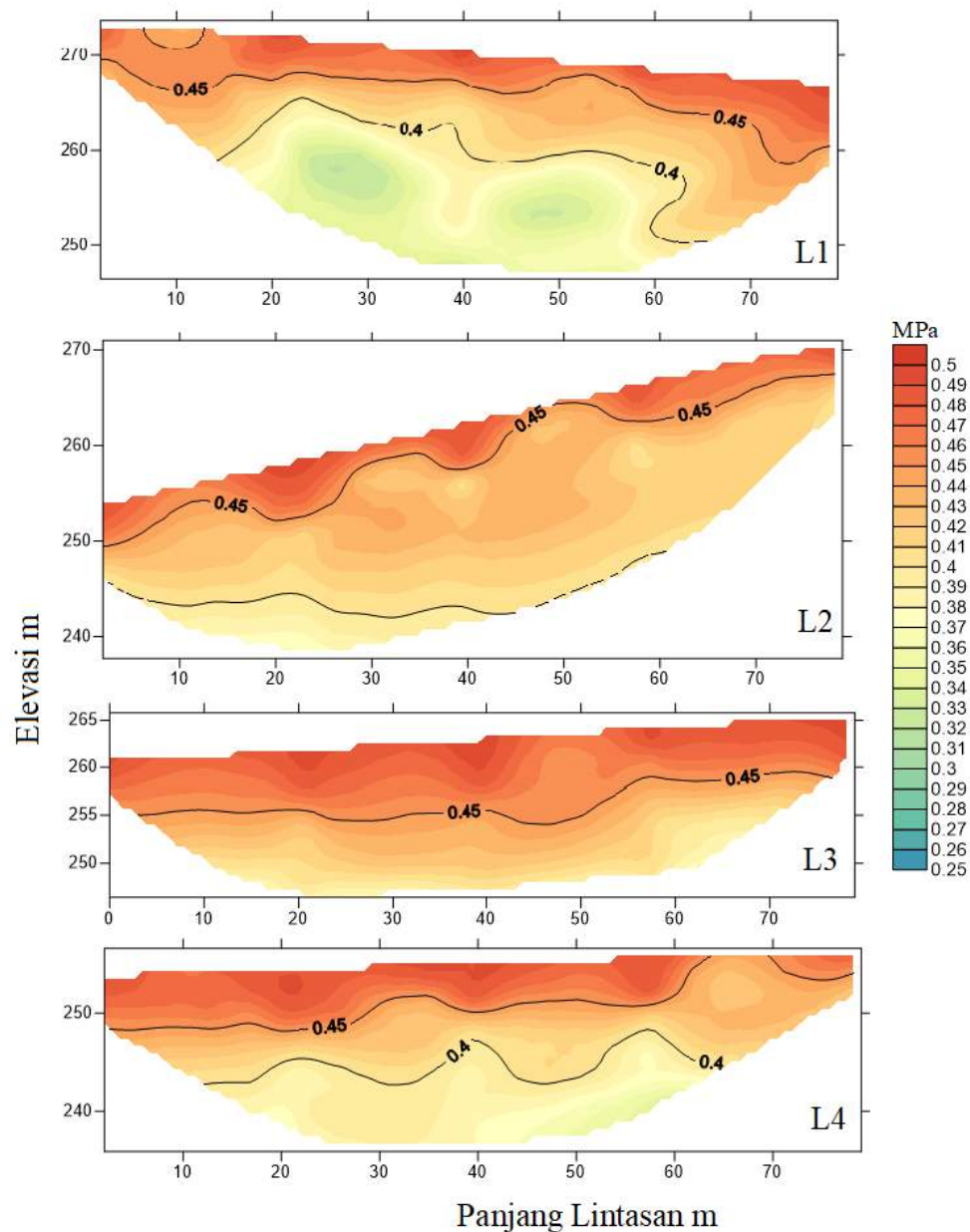
Gambar 4. 10 Modulus Shear dan Modulus Young sebagai fungsi kedalaman

4.5 Poisson's Ratio

Salah satu parameter dalam menentukan keelastisitasan suatu material adalah *poisson's ratio*. perhitungan nilai *poisson's ratio* dilakukan setelah nilai kecepatan gelombang-P dan kecepatan gelombang-S dari seismik refraksi dan MASW diperoleh. Analisis *poisson's ratio* dilakukan pada setiap lintasan pengukuran. Hasil analisis ini digunakan untuk mengetahui tingkat *stress* serta tingkat kejenuhan daerah longsor. Dalam penghitungan nilai *poisson's ratio*, variabel densitas tidak diperlukan dalam perhitungannya. Hal ini berbeda dengan penentuan nilai *modulus young* dan *modulus shear* yang bergantung pada nilai densitas. Nilai *poisson's ratio* biasanya berkisar antara 0 hingga 0,5, dimana makin tinggi nilai *poisson's ratio* yang diperoleh (mendekati atau sama dengan 0,5) maka lapisan atau material tersebut jenuh dengan air.

Profil *poisson's ratio* pada Gambar 4.11 menunjukkan persebaran nilai yang berkisar antara 0.3 hingga 0.49. Daerah yang jenuh air dengan material yang lebih stabil dipisahkan oleh nilai V sebesar 0.45. Ketebalan lapisan jenuh untuk setiap lintasan mencapai kedalaman hingga 5 m di bawah permukaan. Pada lintasan 1 (dekat daerah yang mengalami pergerakan tanah) terlihat nilai *poisson's ratio*

diatas 0.45 mencapai kedalaman 10 m pada jarak 0-15 m dan 65-80 m lintasan pengukuran. Dibawah lapisan ini ($0,4 < \text{poisson's ratio} < 0,45$) pada lintasan 1 memiliki ketebalan 5 m di bagian BaratDaya dan menebal di bagian TimurLaur hingga 10 m. Pada profil Lintasan 1 juga ditemukan nilai *poisson's ratio* dibawah 0.4 pada meter ke 20-60 m dari panjang lintasan. Lapisan ini berada pada kedalaman 9-10 m dibawah permukaan.

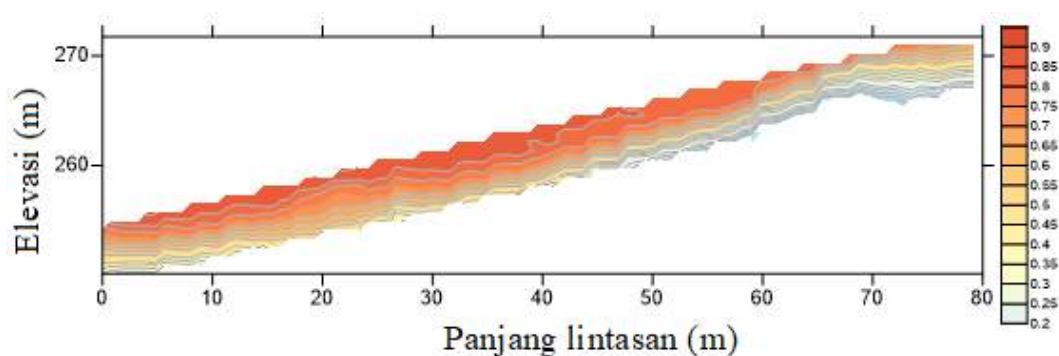


Gambar 4. 11 Poisson's ratio

Pada daerah yang lebih stabil (Lintasan 4), terlihat nilai *poisson's ratio* yang berkisar antara 0,35 hingga 0,47. Lapisan pertama dengan nilai V lebih dari 0,45 berada hingga kedalaman 4 m. Lapisan selanjutnya dengan nilai V antara 0,4-0,45 berada pada kedalaman 4-10 m. Lapisan terakhir dengan nilai V yang lebih kecil dari 0,4 berada di bawah kedalaman 10 m.

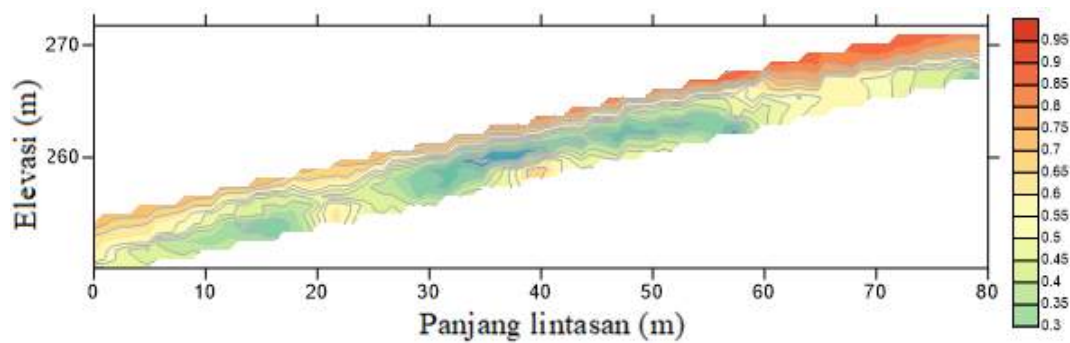
4.6 Fracture Index

Fracture index (indeks retakan) merupakan perbandingan antara nilai kecepatan gelombang yang diperoleh di lapangan dengan nilai kecepatan gelombang yang diperoleh di laboratorium. Dalam penelitian ini dilakukan analisis fracture index untuk masing-masing nilai kecepatan gelombang (V_p dan V_s). Nilai fracture index dapat mengindikasikan tingkat perkembangan retakan dari suatu lapisan material (SEG, 2014). Umumnya, semakin kecil nilai fracture index C_r maka semakin baik batuan atau material tersebut.



Gambar 4. 12 Fracture Index V_p lintasan 2

Nilai V_p laboratorium yang digunakan dalam menganalisis index fracture dalam penelitian ini adalah nilai V_p batuan konglomerat lapuk (Table 4.1) yaitu 1420 m/s. Nilai ini dipilih karena merupakan batas nilai V_p batas dari batuan lapuk. Sementara nilai V_p lapangan yang digunakan adalah V_p pada kedalaman 0-5 m.



Gambar 4. 13 Fracture Index Vs Lintasan 2

Hasil analisis fracture index V_p (gambar 4.12) menunjukkan bahwa nilai tinggi (>0.75) berada pada jarak 10 sampai 60 m pada kedalaman 3 m. Akan tetapi pada jarak 60-80 m, nilai fracture index yang tinggi hanya berada pada kedalaman kurang dari 1 m.

Fracture index V_s (gambar 4.13) menggunakan nilai kecepatan gelombang-S laboratorium yang diperoleh dari penurunan nilai poisson's ratio dan V_p laboratorium. Sama halnya dengan fracture index V_p , nilai V_s yang digunakan adalah nilai V_s pada kedalaman 0-5 m.

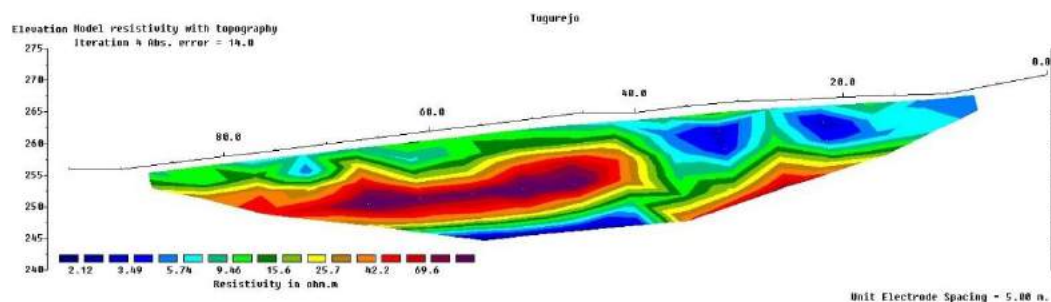
Berbeda dengan fracture index V_p , hasil analisis fracture index V_s menunjukkan bahwa nilai tinggi (>0.75) berada pada jarak lintasan 60 – 80 m hingga kedalaman 5 m. Nilai yang diperoleh ini berbanding terbalik dengan nilai fracture index V_p , tetapi menunjukkan korelasi dengan hasil interpretasi resistivitas dan poisson's ratio. Hal ini disebabkan karena V_s memiliki respon yang sangat baik terhadap fluida, dimana V_s akan bernilai kecil.

4.7 Resistivitas

Desain lintasan pengukuran sejajar dengan arah bidang longsor (BaratLaut-Tenggara) dan lintasan 2, berjarak beberapa meter dari bidang rekahan. Pengambilan data dilakukan dengan menggunakan *Resistivity Meter* EDAK dengan konfigurasi Wenner-Schlumberger. Panjang lintasan pengambilan data adalah 95 m dengan spasi antar elektroda adalah 5 m.

Hasil pengolahan data (Gambar 4.12) menunjukkan penampang resistivitas bawah permukaan dengan harga resistivitas berkisar antara 2,12 hingga 69,6 Ωm dengan kedalaman yang dicapai adalah sekitar 25 meter, dengan nilai RMS error yaitu 14,0 %. Pengukuran resistivity ini dilakukan sehari setelah hujan sehingga nilai resistivitas yang diperoleh sangat rendah. Nilai resistivitas 2,12 Ωm – 5,74 Ωm dengan pencitraan warna biru diinterpretasikan sebagai zona *water content* atau zona tersaturasi air. Hal tersebut didukung dengan adanya *crack* atau rekahan yang ada di permukaan. Zona saturasi air teridentifikasi pada kedalaman 0 – 15 meter.

Hasil interpretasi pseudosection dapat dilihat bahwa nilai resistivitas hingga meter ke 35 mengalami penurunan dan meningkat setelahnya. Nilai resistivity yang rendah ini menerus hingga bawah permukaannya (15m). Zona saturasi air ini menyempit, hal ini mengindikasikan bahwa adanya celah pada bidang longsor yang memungkinkan air akan masuk merembes dan meneruskan rekahan yang berada pada baratdaya bidang pengukuran.



Gambar 4. 14 Penampang resistivitas 2D

4.8 Analisis Longsor

Profil kecepatan gelombang-P dan gelombang-S digunakan untuk menentukan ketebalan lapisan lapuk yang memiliki kecepatan gelombang yang lebih rendah dari lapisan lainnya. Perbedaan nilai kecepatan gelombang ini kemudian didukung dengan hasil analisis dengan menggunakan modulus elastis dimana pada lapisan lapuk juga memiliki nilai modulus elastis yang rendah dibanding lapisan di bawahnya.

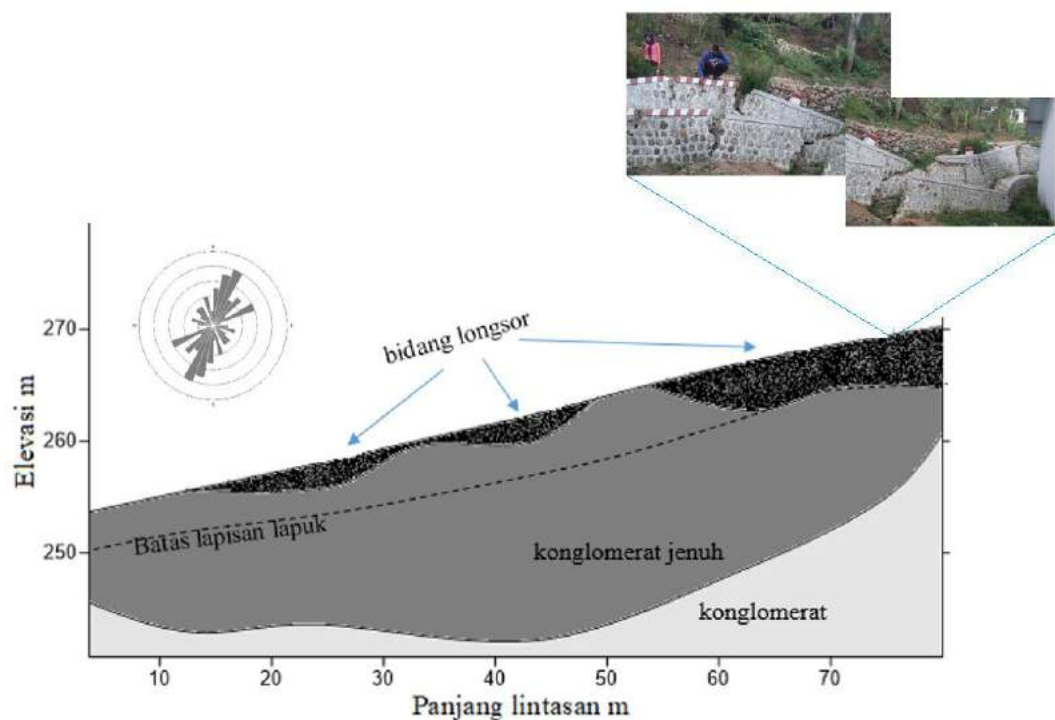
Hasil analisis V_p menunjukkan lapisan pertama dengan rentang kecepatan antara 500-1200 m/s yang berada pada kedalaman hingga 5 m diinterpretasikan sebagai batas batuan lapuk. Berdasarkan nilai V_s yang diperoleh, kecepatan gelombang < 700 m/s berada pada kedalaman kurang dari 5 m. Nilai kecepatan gelombang-S 700 m/s merupakan batas dari lapisan lapuk bidang geoteknik (Yilmaz, 2015). Berdasarkan kemiripan nilai kecepatan gelombang dari sampel batuan yang diperoleh dilapangan, lapisan ke 2 dan ke 3 yang diinterpretasikan pada (Gambar 4.5) diketahui bahwa lapisan ini merupakan batuan konglomerat dengan tingkat pelapukan yang berbeda. Tingkat pelapukan biasanya menurun dengan meningkatnya kedalaman sehingga kecepatan gelombang-P dan gelombang-S juga akan memiliki nilai yang lebih tinggi untuk lapisan yang lebih dalam (Yamakawa, dkk 2012).

Sama halnya dengan kecepatan gelombang-P dan gelombang-S, *modulus shear* dan *modulus young* memiliki nilai rendah pada material yang lapuk. Nilai rendah dari tiap modulus pada kedalaman 5 m dapat dikaitkan dengan pelapukan tanah dan bagian yang mengalami pergerakan tanah. Pada kedalaman ini, G memiliki nilai di bawah 200 kPa. Nilai *modulus shear* yang kecil menunjukkan kekuatan geser rendah. Nilai G meningkat dengan cepat di bawah kedalaman lapisan ini (kedalaman > 5 m), hal ini menunjukkan bahwa kegagalan lereng hanya akan terjadi di atas lapisan ini. Jika dibandingkan dengan hasil analisis *modulus shear*, *modulus young* memiliki nilai < 500 kPa pada lapisan lapuk. Bila dibandingkan nilai *modulus young* lempung yang bersifat sangat plastis (< 350 kPa), lapisan lapuk juga dapat dikategorikan memiliki sifat yang plastis.

Interpretasi *poisson's ratio*, $\nu = 0.45$ didefinisikan sebagai batas lapisan lapuk, sementara di bawah lapisan ini terdiri dari lapisan konglomerat dengan tingkat pelapukan yang berbeda tiap kedalamannya. Variasi nilai *poisson's ratio* lebih terlihat pada lintasan 1, pada jarak 1-15 m dan 65-80 m lintasan pengukuran tempat dimana telah terjadi pergerakan tanah. Pada bagian ini, hal yang mendasari terjadinya pergerakan tanah adalah peningkatan kadar air seperti dengan yang ditunjukkan pada hasil analisis nilai ν . Retakan-retakan yang muncul dipermukaan menyebabkan air dapat merembes menuju lapisan yang berada dibawah lapisan

lapuk. Hasil ini konsisten dengan hasil yang ditunjukkan oleh profil kecepatan gelombang-P yang meningkat pada daerah tersebut. Pada lintasan 2 juga terlihat bahwa nilai v antara 0,4-045 atau lapisan kedua memiliki variasi ketebalan nilai v , dimana di bagian BaratDaya lapisan ini memiliki ketebalan antara 15-20 m dan menipis ke bagian tenggara dengan ketebalan 5 m. Bila dikorelasikan nilai *poisson's ratio* pada lintasan 1 dan lintasan 2 (di bagian BaratDaya) dengan nilai penampang resistivitas (0-35m dari panjang lintasan), nilai yang diperoleh dari ketiga parameter tersebut saling berkaitan. Dimana pada daerah ini merupakan daerah yang jenuh dengan air.

Hasil analisis fracture index Vs memiliki korelasi yang baik dengan nilai *poisson's ratio* yang diperoleh pada jarak 60-80 m hingga kedalaman 5 m pada lintasan 2. Dari hasil geolistrik juga menunjukkan bahwa daerah tersebut jenuh dengan air. Nilai Vs yang diperoleh pada daerah tersebut merupakan faktor utama yang mengontrol tingginya nilai fracture index. Nilai Vs memiliki respon yang baik terhadap fluida, sehingga fracture index Vs dipilih untuk menganalisis bagian longsoran.



Gambar 4. 15 Pemodelan longsor Tugurejo

Identifikasi longsor daerah penelitian dilakukan dengan mengkompilasi hasil analisis gelombang-P dan gelombang-S, modulus elastisitas, distribusi *poisson's ratio*, *fracture index* dan penampang resistivity. Penentuan bagian longsor di bawah permukaan kemudian dikorelasikan dengan data geologi yang ada. Berdasarkan analisis frekuensi kekar yang terdapat di Tugurejo, didapatkan arah dominan kekar N20°E-N180°E. Hasil analisis kekar ini menunjukkan bahwa arah longsor adalah TimurLaut-BaratBaya. Bagian yang diinterpretasikan sebagai bidang longsor terdiri dari lapisan lapuk yang jenuh dan lapisan konglomerat jenuh. Disamping litologi, tingkat kepadatan dari material juga merupakan parameter yang penting dalam menentukan bidang atau daerah yang mengalami longsor, karena hal ini dapat memberikan indikasi dari sifat geotekniknya. Batas lapisan lapuk juga diinterpretasikan sebagai batas bidang longsor. Bila terjadi hujan berkepanjangan, air akan masuk ke dalam tanah dan bidang longsor (warna hitam) akan menyebar sepanjang batas bidang longsor. Meskipun di bawah lapisan lapuk diinterpretasikan sebagai lapisan konglomerat jenuh berdasarkan nilai *poisson's ratio* yang dimiliki, akan tetapi lapisan ini memiliki nilai densitas yang tinggi, diamati dalam profil *modulus shear*. Sehingga air akan mengalir mengikuti lereng memenuhi lapisan lapuk dibanding menerobos ke lapisan selanjutnya yang memiliki densitas yang lebih besar. Bagian yang diinterpretasikan sebagai bagian longsor telah dibuktikan dengan munculnya retakan-retakan di permukaan dan telah mengalami pergerakan tanah.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

1. Hasil analisis gelombang-P dan gelombang-S menunjukkan adanya lapisan dengan kecepatan rendah dengan rentang antara 500-1200 m/s untuk V_p dan 150-350 m/s untuk V_s pada kedalaman di bawah 5 m, lapisan ini diidentifikasi sebagai lapisan lapuk.
2. Analisis longsor yang telah dilakukan dengan mengacu pada nilai kecepatan gelombang-P dan gelombang-S, densitas, modulus shear, modulus young, poisson's ratio, fracture index, dan geolistrik diketahui bagian mengalami kelongsoran terdiri dari lapisan lapuk yang jenuh dan lapisan konglomerat jenuh pada kedalaman hingga 5 m.

5.2 Saran

Terdapat beberapa saran yang dapat menjadi pertimbangan untuk penelitian selanjutnya, antara lain:

1. Menambah lintasan pengukuran seismik refraksi dan MASW agar mendapatkan korelasi yang lebih baik.
2. Melakukan korelasi perbandingan hasil dengan metode geofisika lainnya.

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN

DAFTAR PUSTAKA

- Atkinson, J.H., 2000. "Non-linear soil stiffness in routine design", *Géotechnique* Vol. 50, hal. 487–508.
- Gercek, H., 2007. "Poisson's ratio values for rocks", *Int. J. Rock Mech. Min. Sci.* Vol. 44, hal. 1–13.
- Karnawati, D., 2007. "Mekanisme Gerakan Massa Batuan Akibat Gempabumi ; Tinjauan dan Analisis Geologi Teknik", *Dinamika Teknik Sipil*, Vol. 7, No. 12, hal. 179-190.
- Leroueil, S., 2001. "Natural Slopes and Cuts: Movement and Failure Mechanisms", *Géotechnique*, Vol. 51.
- Nurdiyanto, B., Hartanto, E., Ngadmanto, D., Sunardi, B., Susilanto, P., 2011. "Penentuan Tingkat Kekerasan Batuan Menggunakan Metode Seismik Refraksi", *Jurnal Meteorologi dan Geofisika*, Vol 12, No. 3, hal. 211-220.
- Oh, W.T., Vanapalli, S.K., 2011. "Relationship Between Poisson's Ratio and Soil Suction for Unsaturated Soils", *Unsaturated Soils Theory Practice*.
- Olafsdottir, E.A., Erlingsson, S., Bessason, B., 2018. "Tool for Analysis of Multichannel Analysis of Surface Waves (MASW) Field Data and Evaluation of Shear Wave Velocity Profiles of Soils" *Canadian Geotechnical Journal*, 55, 217–233.
- Ostrander, Wj., 1984. "Plane-Wave Reflection Coefficients for Gas Sands at Nonnormal Angles of Incidence", *Geophysics* 49, 1637–1648.
- Park, C.B., Miller, R.D., Xia, J., 1998. "Imaging Dispersion Curves of Surface Waves on Multi-Channel Record", *Society of Exploration Geophysicists*, pp. 1377–1380.
- Park, C.B., Miller, R.D., Xia, J., Ivanov, J., 2007. "Multichannel Analysis Of Surface Waves (MASW)—Active and Passive Methods", *The Leading Edge*, Vol. 26, hal. 60–64.
- Reynold, J.M., 2011. "An Introduction to Applied and Environmental Geophysics", *John Wiley Sons Ltd Chichester*.

- Rosyidi, S.A.P., 2015. "Pemetaan Daya Dukung Tanah dan Diskontinuitas Struktur Tanah Dasar Menggunakan Metode Multi-Channel Analysis Of Surface Waves (MASW)", *Seminar Nasional Teknik Sipil*, Vol. V, hal. 162–169.
- Samodra, H., Gafoer, S., Tjokrosapoetro, S., 1992. "Geological Map of The Pacitan Quadrangle, Jawa".
- Schön, J., 2011. "Physical Properties of Rocks: a Workbook, Handbook of Petroleum Exploration and Production", *Elsevier*, Amsterdam ; Boston.
- Schrott, L., Sass, O., 2008. "Application of Field Geophysics in Geomorphology: Advances and Limitations Exemplified By Case Studies". *Geomorphology* 93, 55–73.
- SEG, 2014. *Application Manual of Geophysical Methods to Engineering and Environmental Problems*, the Society of Exploration Geophysicists of Japan. ed.
- Telford, W.M., Geldart, L.P., Sheriff, R.E., 1990. *Applied Geophysics, Second Edition*. ed. Cambridge University Press, London.
- Turk, N., Dearman, W., 1987. "Assessment of Grouting Efficiency in a Rock Mass in Terms of Seismic Velocities", *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, Vol. 36, No. 1, hal. 101-108.
- Uhlemann, S., Hagedorn, S., Dashwood, B., Maurer, H., Gunn, D., Dijkstra, T., Chambers, J., 2016. "Landslide Characterization Using P- and S-Wave Seismic Refraction Tomography — The Importance of Elastic Moduli", *Journal Applied Geophysics*. 134, 64–76.
- Vernes, V., 1978. *Slope Movements Types and Processes*. Natl. Acad. Sci.
- Yalcinkaya, E., Alp, H., Ozel, O., Gorgun, E., Martino, S., Lenti, L., Bourdeau, C., Bigarre, P., Coccia, S., 2016. "Near-surface geophysical methods for investigating the Buyukcekmece landslide in Istanbul, Turkey", *Journal Applied Geophysics*, 134, 23–35.
- Yamakawa, Y., Kosugi, K., Masaoka, N., Sumida, J., Tani, M., Mizuyama, T., 2012. "Combined geophysical methods for detecting soil thickness distribution on a weathered granitic hillslope", *Geomorphology* 145–146, 56–69.

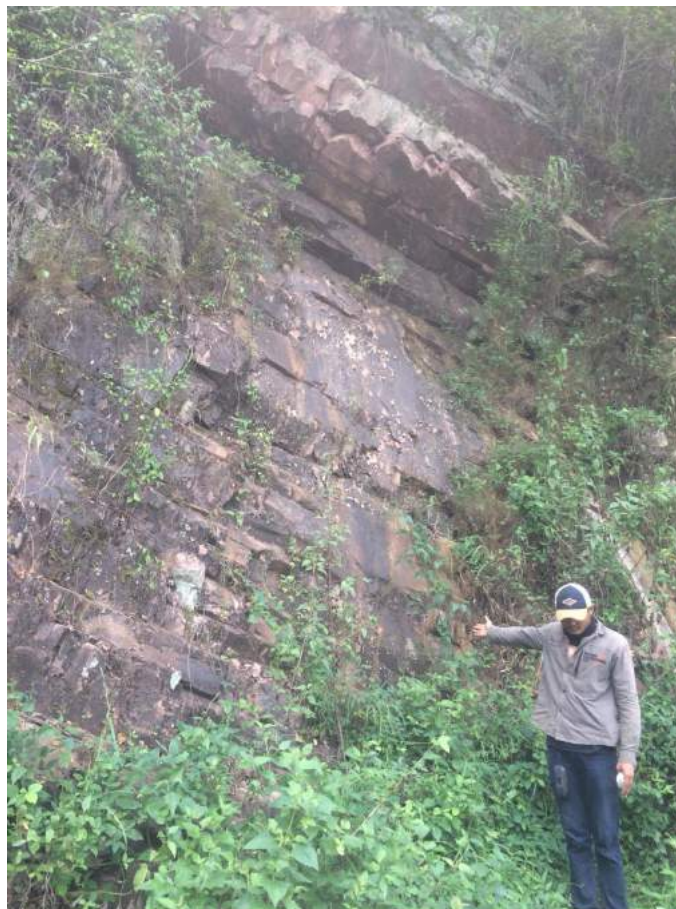
- Yilmaz, Ö., 2015. "Engineering Seismology with Applications to Geotechnical Engineering", *Society of Exploration Geophysicists*.
- Yuniarta, H., Saido, A.P., Purwana, Y.M., 2015. "Kerawanan Bencana Tanah Longsor Kabupaten Ponorogo", *e-Jurnal Matriks Teknik Sipil*.
- Yusof, N., Ramli, M.F., Pirasteh, S., Shafri, H.Z.M., 2011. "Landslides and Lineament Mapping Along the Simpang Pulai to Kg Raja Highway, Malaysia", *Int. J. Remote Sens.* 32, 4089–4105.

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN

LAMPIRAN



Gambar 6. 1 Pengambilan data Seismik Refraksi dan MASW



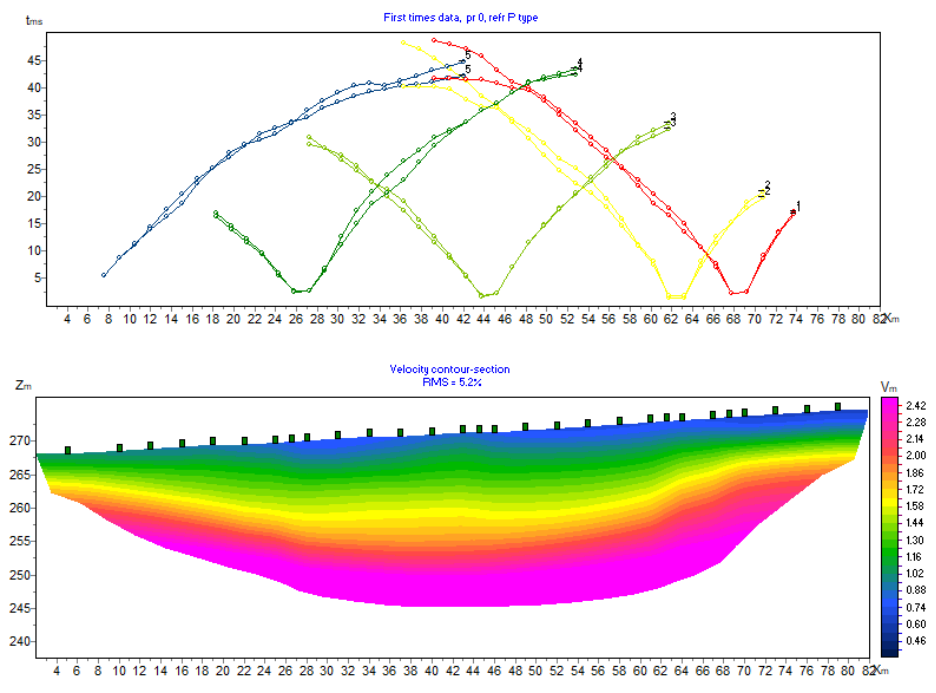
Gambar 6. 2 Pengambilan data kekar



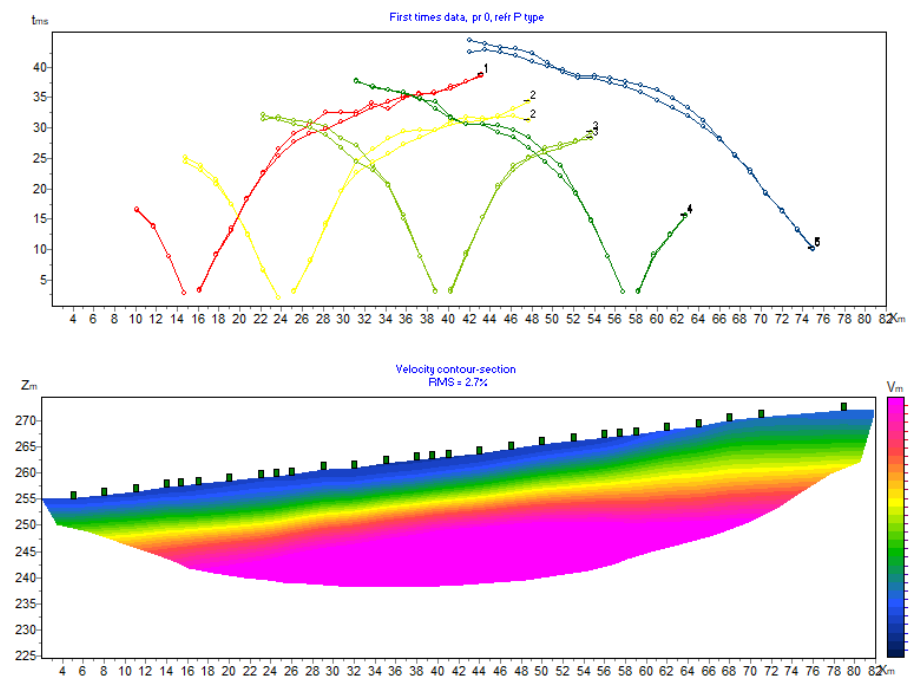
Gambar 6. 3 Lokasi pengambilan sampel batuan



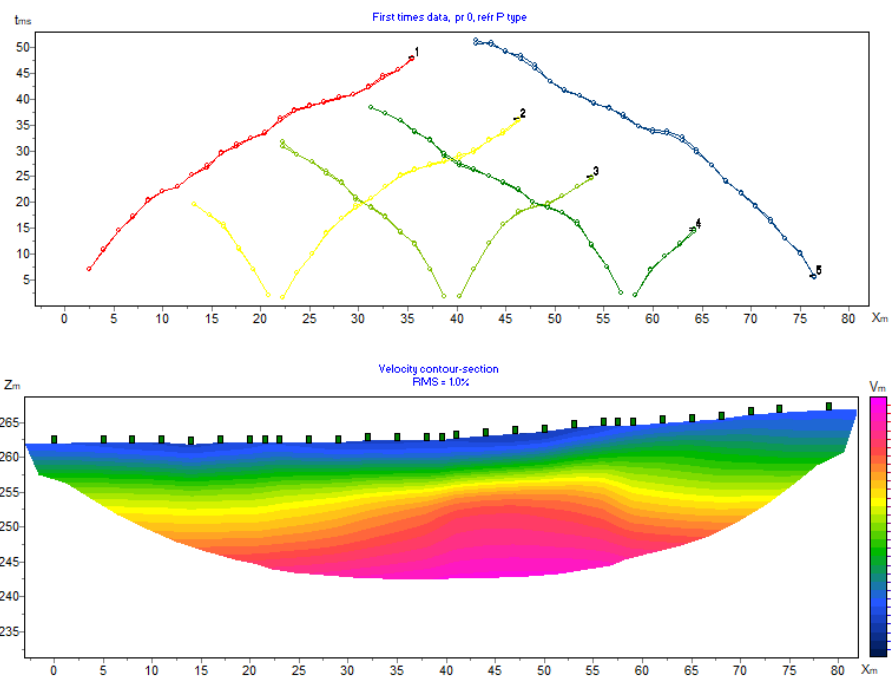
Gambar 6. 4 Pengukuran V_p sampel batuan di Teknik Sipil ITS



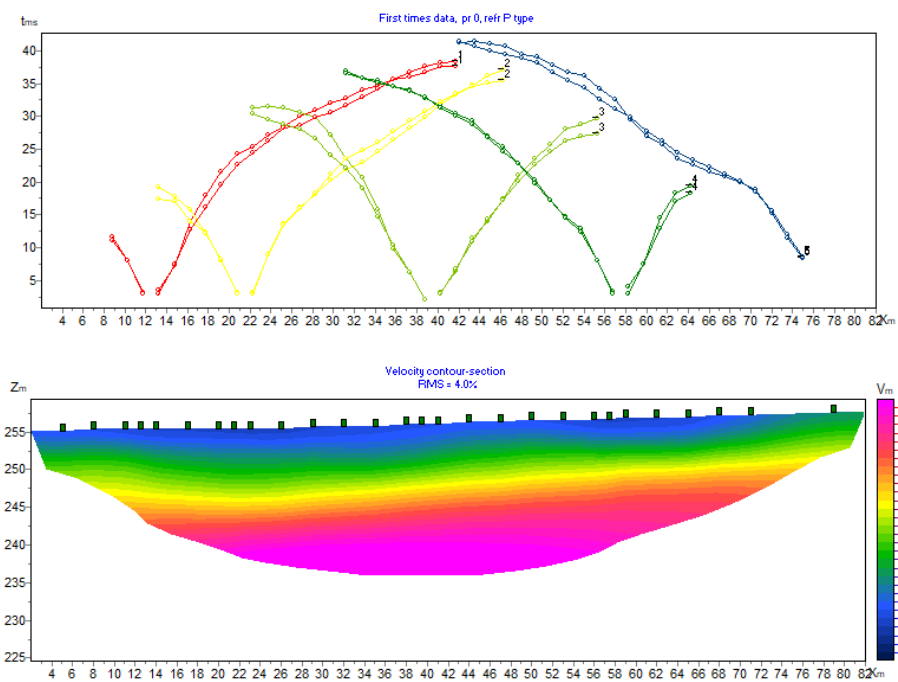
Gambar 6. 6 Profil 2D Vp Lintasan 1



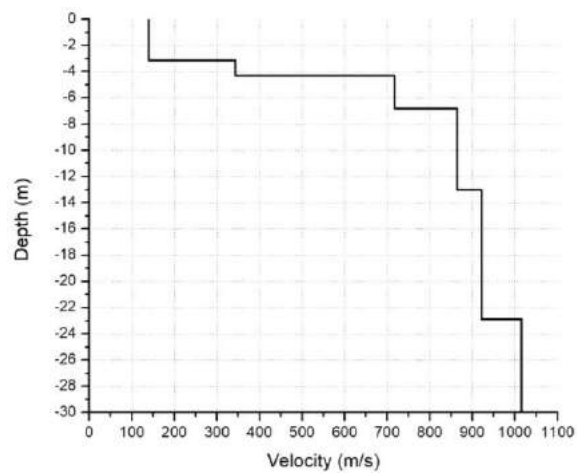
Gambar 6. 7 Profil 2D Vp Lintasan 2



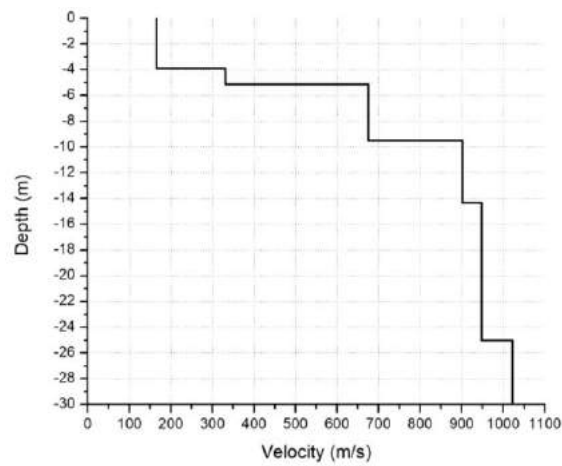
Gambar 6. 8 Profil 2D Vp Lintasan 3



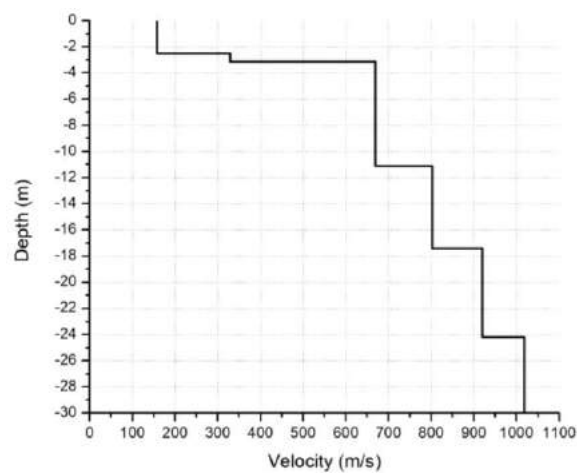
Gambar 6. 9 Profil 2D Vp Lintasan 4



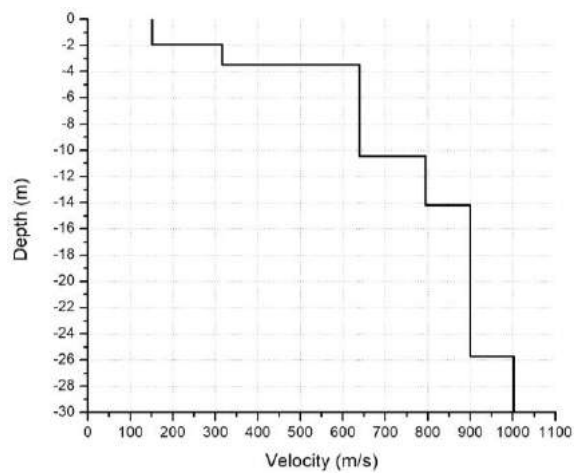
Gambar 6. 10 Profil Vs 1D hasil pengolahan Easy MASW Line 1 Shotpoint 1



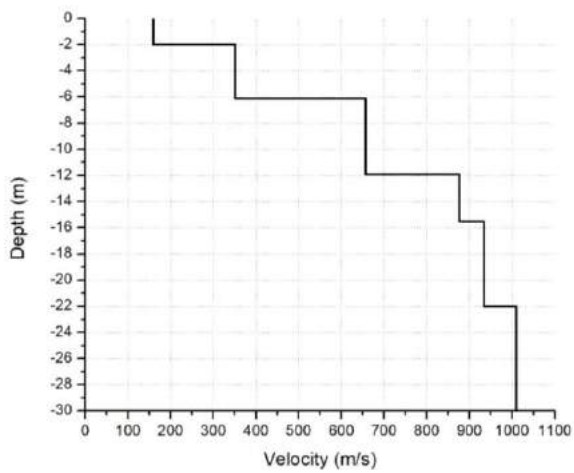
Gambar 6. 11 Profil Vs 1D hasil pengolahan Easy MASW Line 1 Shotpoint 2



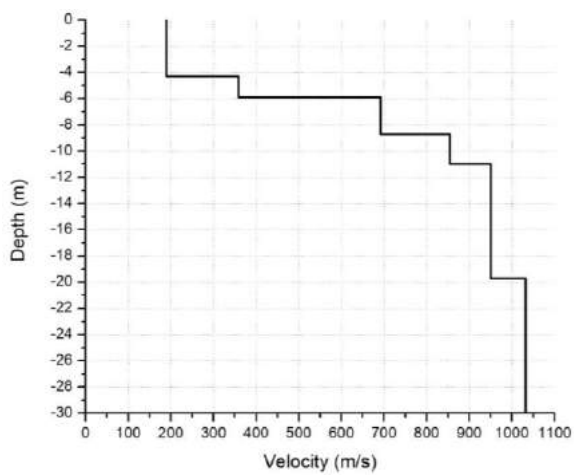
Gambar 6. 12 Profil Vs 1D hasil pengolahan Easy MASW Line 1 Shotpoint 3



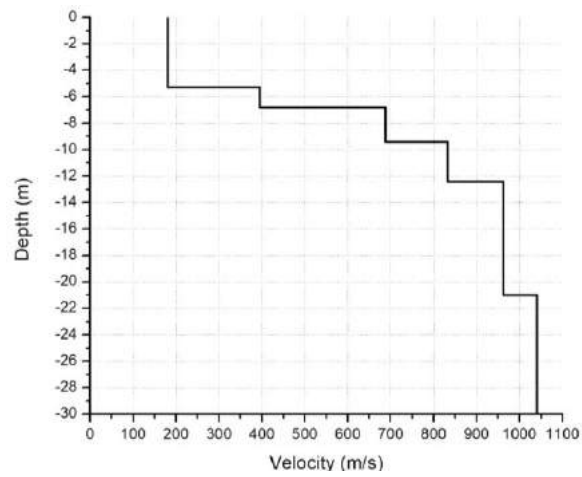
Gambar 6. 13 Profil Vs 1D hasil pengolahan Easy MASW Line 1 Shotpoint 4



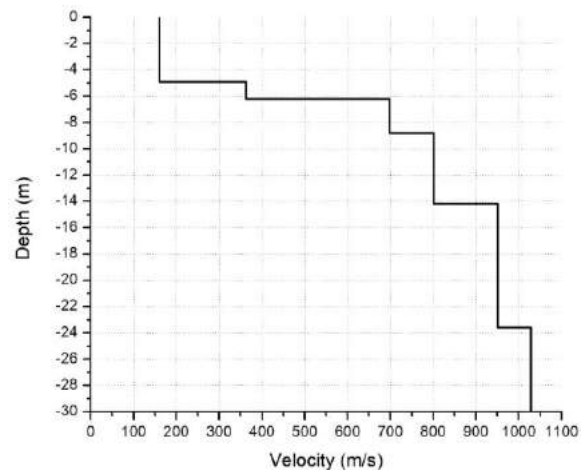
Gambar 6. 14 Profil Vs 1D hasil pengolahan Easy MASW Line 1 Shotpoint 5



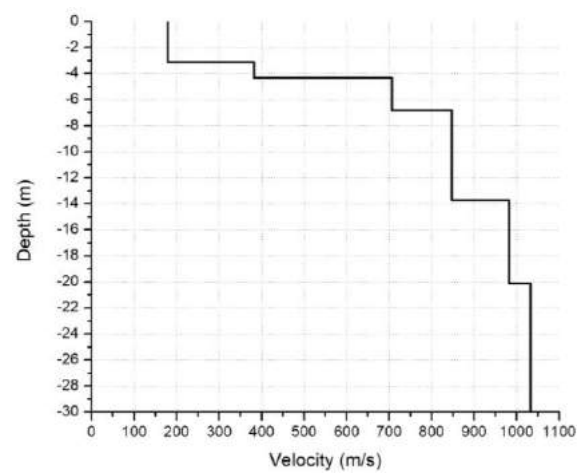
Gambar 6. 15 Profil Vs 1D hasil pengolahan Easy MASW Line 2 Shotpoint 1



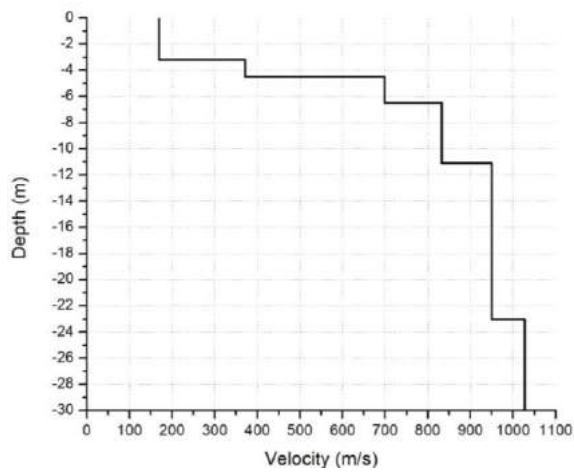
Gambar 6. 16 Profil Vs 1D hasil pengolahan Easy MASW Line 2 Shotpoint 2



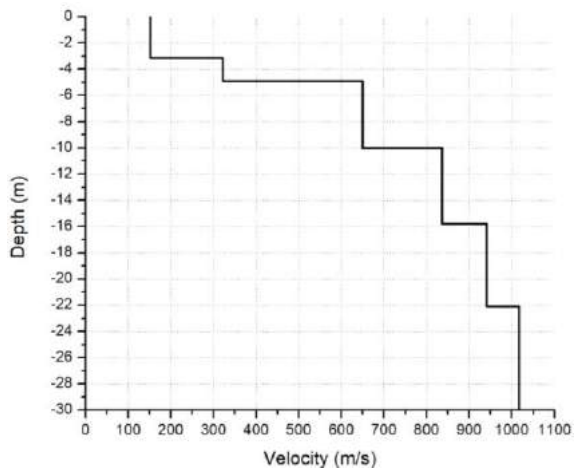
Gambar 6. 17 Profil Vs 1D hasil pengolahan Easy MASW Line 2 Shotpoint 3



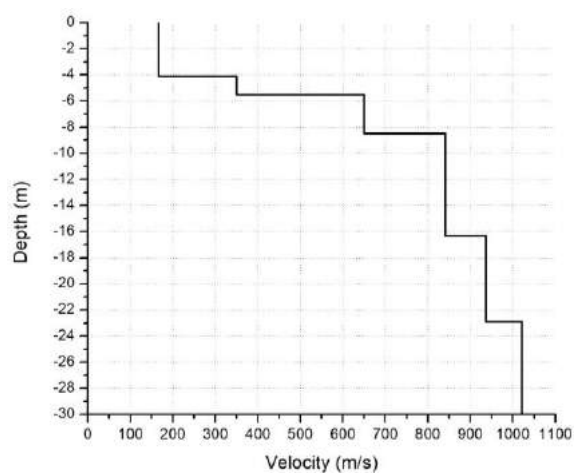
Gambar 6. 18 Profil Vs 1D hasil pengolahan Easy MASW Line 2 Shotpoint 4



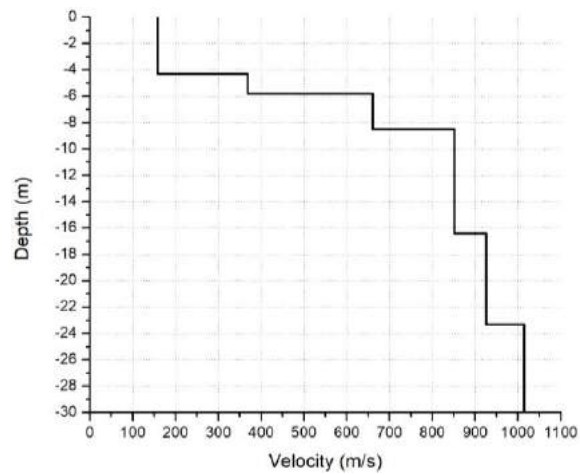
Gambar 6. 19 Profil Vs 1D hasil pengolahan Easy MASW Line 2 Shotpoint 5



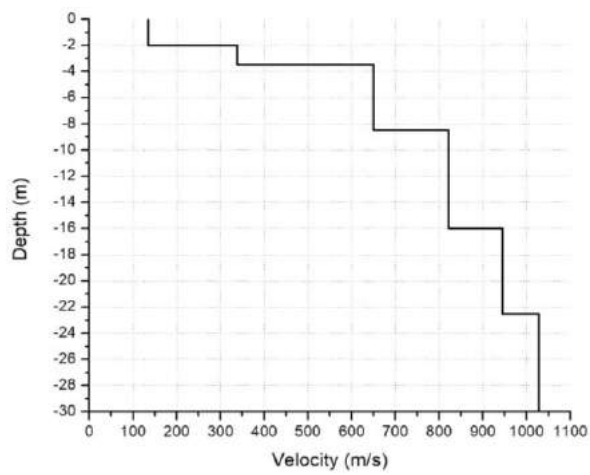
Gambar 6. 20 Profil Vs 1D hasil pengolahan Easy MASW Line 3 Shotpoint 1



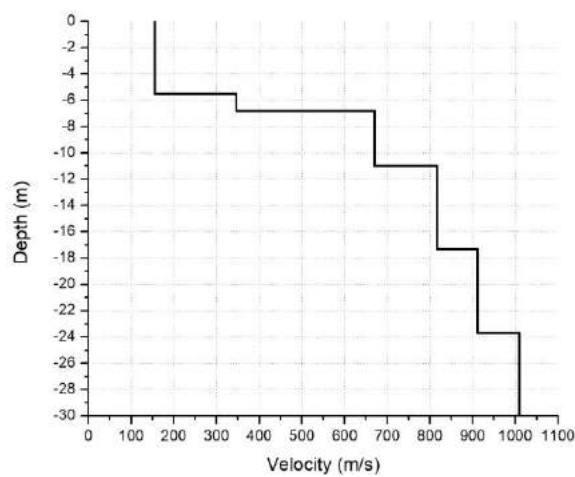
Gambar 6. 21 Profil Vs 1D hasil pengolahan Easy MASW Line 3 Shotpoint 2



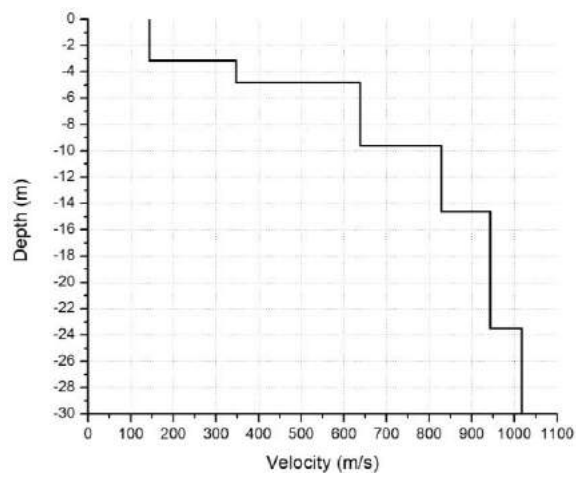
Gambar 6. 22 Profil Vs 1D hasil pengolahan Easy MASW Line 3 Shotpoint 3



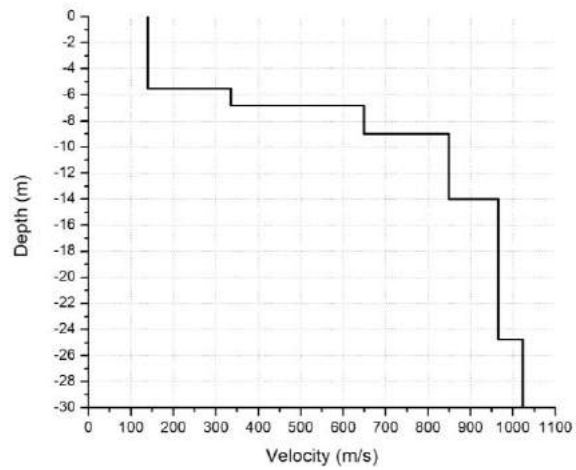
Gambar 6. 23 Profil Vs 1D hasil pengolahan Easy MASW Line 3 Shotpoint 4



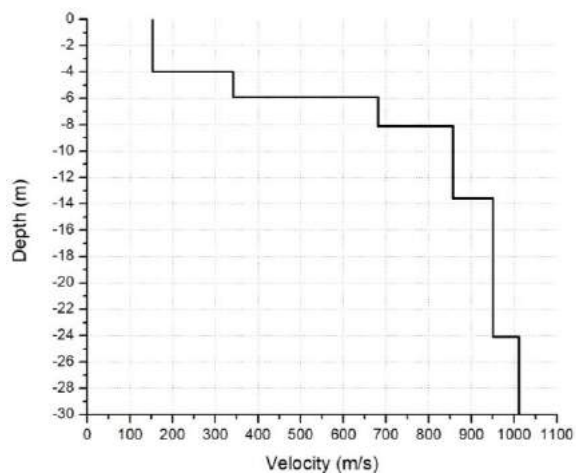
Gambar 6. 24 Profil Vs 1D hasil pengolahan Easy MASW Line 3 Shotpoint 5



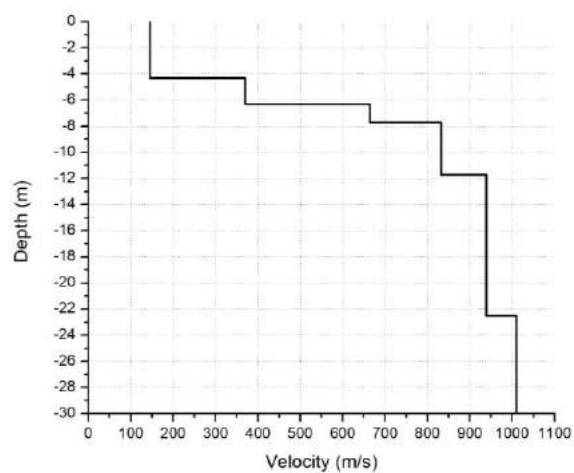
Gambar 6. 25 Profil Vs 1D hasil pengolahan Easy MASW Line 4 Shotpoint 1



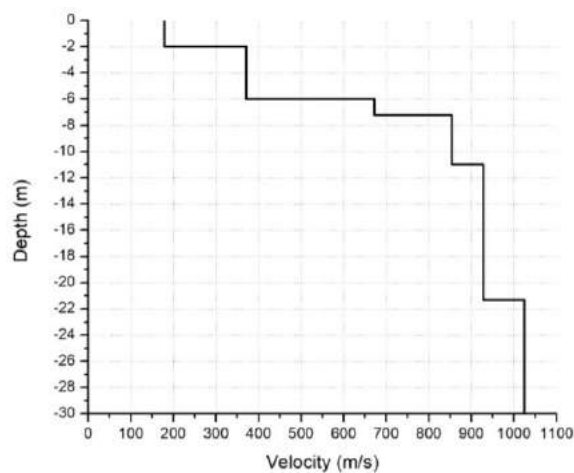
Gambar 6. 26 Profil Vs 1D hasil pengolahan Easy MASW Line 4 Shotpoint 2



Gambar 6. 27 Profil Vs 1D hasil pengolahan Easy MASW Line 4 Shotpoint 3



Gambar 6. 28 Profil Vs 1D hasil pengolahan Easy MASW Line 4 Shotpoint 4



Gambar 6. 29 Profil Vs 1D hasil pengolahan Easy MASW Line 4 Shotpoint 5

BIODATA PENULIS



Yusri Prayitna, melihat dunia untuk pertama kalinya di Barru, Sulawesi Selatan, tanggal 6 Desember 1990. Yusri (sapaan akrab penulis) merupakan anak kedua dari empat bersaudara dari pasangan Muhammad Talha dan Nurbaya. Penulis menempuh pendidikan formal untuk pertama kalinya di SDN Padongko pada tahun 1996-2002. Dan melanjutkan pendidikan di SMP 1 Barru dan Setelahnnya melangkah ke SMA 1 Barru hingga 2008.

Penulis melanjutkan pendidikan di perguruan tinggi Politeknik Negeri Ujung Pandang (PNUP Makassar) jurusan Teknik Elektro. Di tahun pertama pendidikan perguruan tinggi negeri, penulis memilih pindah ke Universitas Negeri Makassar jurusan Fisika. Penulis menempuh pendidikan S1 jurusan Fisika selama 5 tahun. Selama kuliah, penulis aktif dalam kegiatan organisasi dalam Himpunan Mahasiswa Fisika (HIMAFI). Setelah menyelesaikan pendidikan S1, di tahun 2015 akhir, penulis me-ngambil pendidikan Magister di Institut Teknologi Sepuluh Nopember yang bertempat di kota pahlawan Surabaya. Selama menjalani pendidikan Magister, penulis beserta rekan-rekan sepemikiran membentuk perkumpulan pemuda peduli minat baca di daerah asalnya. Perkumpulan itu dinamai Barru-Membaca. Selain itu penulis juga aktif dalam bidang keprofesian yaitu dengan mengikuti seminar-seminar dan fieldtrip yang dilaksanakan baik di Surabaya, maupun di luar Surabaya. Penulis dapat dihubungi melalui email di *yusri.prayitna@gmail.com*.

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN